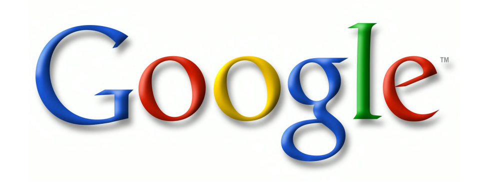



NYPL RESEARCH LIBRARIES
3 3433 06637813 8



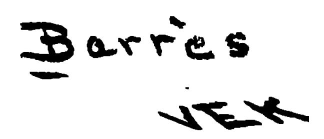
VEK
Barr[illegible]

Barrè
VEK

NOUVEAU SYSTÈME

DE PONTS

A GRANDES PORTÉES.



IMPRIMERIE DE HUZARD-COURCIER,
rue du Jardinet, n° 12.

NOUVEAU SYSTÈME
DE PONTS
A GRANDES PORTÉES,

OU

MOYEN ÉCONOMIQUE

DE CONSTRUIRE DES ARCHES DE TOUTES GRANDEURS;

PAR

LE V[TE] DE BARRÈS DU MOLARD,

OFFICIER SUPÉRIEUR AU CORPS ROYAL DE L'ARTILLERIE, CHEVALIER DE SAINT-LOUIS, DE LA LÉGION-D'HONNEUR, DE SAINT-FERDINAND D'ESPAGNE (2e CLASSE).



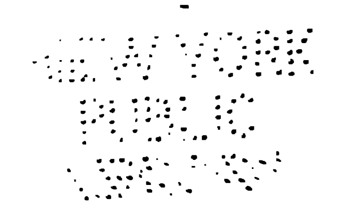
PARIS,

CHEZ BACHELIER, SUCCESSEUR DE Mme Ve COURCIER,

LIBRAIRE POUR LES SCIENCES,

QUAI DES AUGUSTINS, N° 55.

1827



AVIS AU LECTEUR.

Le nouveau système des *ponts à grandes portées*, pour lequel il m'a été délivré un brevet d'invention, étant susceptible de recevoir d'utiles et nombreuses applications par la voie d'une Société anonyme, que par la suite je me propose de fonder, il devient nécessaire de livrer à l'impression le Mémoire et les plans que j'avais produits au Ministère de l'Intérieur pour l'obtention de ce brevet, afin que ceux qui voudraient faire partie de cette Société ne s'y décident qu'en grande connaissance de cause.

Le moment de fonder un tel établissement est d'autant plus favorable, que l'Administration des Ponts et Chaussées, dans la louable intention d'exciter et de favoriser les entreprises de ce genre, vient d'adopter, pour la construction des ponts, la voie du concours au rabais sur le nombre d'années de leur jouissance. Ainsi, tout Particulier, toute Compagnie peut se présenter et faire une soumission (1). La préférence sera accordée à celui qui demandera la moins longue jouissance, pourvu que son projet remplisse les conditions générales, qu'il convienne aux localités, et qu'il présente les caractères de la solidité, de la durée et du bon goût.

Cette mesure est d'une très haute importance, puisqu'elle est capable d'exciter éminemment l'émulation des gens de l'art, de donner aux capitaux un nouveau débouché des plus avantageux, en même temps qu'elle va créer partout des communications intérieures, et donner ainsi à l'agriculture et au commerce des moyens de transport plus prompts et plus sûrs que par les bacs.

Mais comme probablement les tarifs du droit de passage sur les bacs seront le plus souvent à peu près les mêmes pour les ponts, on conçoit que les capitaux destinés à leur construction doivent être proportionnés sur les produits présumables d'après ces tarifs. L'association n'aurait donc pas seulement intérêt à ce que cette construction présentât une grande solidité et promît une longue durée; elle devrait s'assurer en même temps que la dépense n'en fût pas trop forte.

J'ai lieu de croire que mon système offre tous ces avantages : solidité, durée, bon goût, économie.

Le mémoire intitulé *Essai sur un nouveau système de ponts à grandes portées* est imprimé ici sans aucun changement, tel que je l'avais remis à l'autorité avant la délivrance du brevet d'invention qui le précède.

Mais ils sont l'un et l'autre précédés d'une *Exposition des divers systèmes de ponts en bois et en fer pratiqués jusqu'à ce jour.*

L'*Essai* est suivi d'un *Supplément* qui contient des aperçus et des développemens que je ne pouvais donner dans un écrit qui, à la rigueur, n'aurait dû offrir que la description sommaire du système pour lequel je demandais un brevet; car si je lui ai donné autant d'extension, ce n'était que pour mieux fixer l'attention des savans distingués qui composent la Commission d'examen, et provoquer ainsi de leur part l'examen le plus approfondi de mon système (2).

Les *notes* auxquelles le texte renvoie viennent après ce Supplément, et sont indiquées par des chiffres; et les *planches* qui contiennent les dessins des plans terminent l'ouvrage.

Si je n'avais voulu reproduire exactement mon premier écrit tel qu'il fut présenté au Ministre, j'aurais pu sans doute donner une meilleure forme à l'ouvrage que je publie présentement; mais j'ai préféré sacrifier cet avantage à celui d'une plus grande exactitude sur le véritable état des choses. Il en résulte cependant quelques inconvéniens, entre autres, celui de plusieurs renvois et répétitions, que l'on excusera, j'espère, par le motif qui m'a déterminé.

NOUVEAU SYSTÈME
DE PONTS
A GRANDES PORTÉES.

EXPOSITION

DES DIVERS SYSTÈMES DE PONTS EN BOIS ET EN FER PRATIQUÉS JUSQU'A CE JOUR.

PONTS EN BOIS.

Il n'entre pas dans mon sujet de parler des ponts mobiles ni des ponts flottans, qui sont en quelque sorte des exceptions aux constructions ordinaires. Dans cet écrit, il ne s'agit donc que de ces dernières; et sous ce point de vue, en considérant les divers systèmes de ponts en bois pratiqués jusqu'à présent, j'ai reconnu qu'on pouvait les réduire à trois classes :

La première ne peut avoir des travées au-delà de 20 mètres d'ouverture;

La seconde, de 20 à 50 mètres.

La troisième se compose des ponts dont les travées ont de 50 à 100 mètres et plus d'ouverture.

J'appellerai *ponts à petites portées* ceux de la première classe;

Ponts à moyennes portées, ceux de la seconde;

Et *ponts à grandes portées*, ceux de la troisième.

On reconnaîtra que cette classification n'est point arbitraire, mais qu'elle est fondée sur les divers genres de constructions et sur les progrès de l'art ; que chacune de ces différentes espèces de ponts a un caractère particulier bien déterminé, et que l'on ne peut, sans inconvénient, donner aux travées de plus grandes ouvertures.

PONTS EN BOIS A PETITES PORTÉES.

Les ponts en bois à petites portées sont le plus souvent établis sur des chevalets ou sur des pieux alignés et disposés verticalement, ou inclinés lorsqu'ils sont contre-buttés entre eux, deux à deux ou en plus grand nombre. Ces pieux supportent, dans le sens de la largeur du pont, des sommiers qui servent d'appui au bout des poutres, dont la longueur est égale à l'ouverture des travées. Ces poutres sont recouvertes par des claies qui forment le chemin, ou par le plancher, autrement dit le platelage du pont.

Ce système est fort simple, et indique par cela même l'enfance de l'art, puisque sa portée est bornée par la force des poutres d'une certaine longueur.

Le Pont-de-César, sur le Rhin, et qu'il a décrit dans ses Commentaires, paraît avoir servi depuis lors de modèle aux ponts de cette espèce ; souvent même cette construction a été servilement suivie, mais quelquefois on l'a plus ou moins heureusement modifiée. Gauthey, d'après Rondelet, a donné la description la plus exacte du Pont-de-César, sans rien dire cependant de la grandeur des travées. Mais on conçoit aisément qu'elles devaient être très petites, puisque les poutres n'avaient aucun appui intermédiaire entre les palées, et que l'on ne peut dès lors supposer qu'elles eussent plus de 10 mètres de por-

tée. Cette supposition serait même exagérée pour une construction autre que celle d'un pont militaire, c'est-à-dire pour la construction d'un pont permanent.

Parmi les plus heureuses modifications de ce système, on cite celle que le célèbre Palladio introduisit dans la construction du pont de Bassano sur la Brenta. Ce pont, qui était composé de cinq travées de 12,50 mètres d'ouverture chacune, a été souvent imité, particulièrement dans la construction du Pont-Morand sur le Rhône, à Lyon.

Ce pont est composé de dix-sept travées, dont la plus grande a près de 14 mètres d'ouverture. Les piliers ou poteaux sont entés sur pilotis récépés au-dessous du niveau des basses eaux, et liés entre eux par des moises. Ces poteaux sont coiffés de forts chapeaux qui supportent les poutres du plancher, lesquelles sont de plus maintenues et consolidées par des soupoutres, les unes assises sur les chapeaux, les autres soutenues par des contre-fiches que des moises pendantes parallèles, très bien disposées et assujetties vers le sommet des palées, empêchent de fléchir.

Le Pont-Morand fut construit en 1775. En 1825, dans une grosse crue du Rhône, un encombrement de bois et de bateaux transportés par le fleuve, a suffi pour déterminer la rupture et la perte de plusieurs arches, que la Compagnie propriétaire de ce pont a été obligée de faire reconstruire. De pareils évènemens peuvent se reproduire; et il n'est pas rare aussi que des ponts de ce genre aient éprouvé de semblables accidens par la seule accumulation des glaces vers les palées, qui n'ont pu résister ensuite à la débâcle.

On est donc forcé, afin de préserver cette espèce de ponts, lorsqu'ils sont établis sur des rivières sujettes aux débâcles, de

revêtir les palées de madriers, et d'établir en amont des brise-glaces. Mais cette précaution est encore très souvent insuffisante.

Cependant ce système de ponts a reçu quelquefois une extension remarquable; mais les graves inconvéniens qui en résultent ordinairement devant faire rejeter de telles constructions, qui sortent d'ailleurs de leurs limites naturelles, il faut s'en tenir au maximum de portée que je viens d'assigner à ce système.

Et à cet égard je puis aussi m'appuyer de l'autorité de Gauthey, l'un des juges les plus compétens en cette matière. « La longueur ordinaire des bois, dit-il, ne permettant pas » de donner aux travées une bien grande ouverture, on y sup- » plée en formant les contre-fiches et la soupoutre de pièces » doubles ou triples, assemblées en crémaillère. Il a existé » sur l'Isère un pont construit de cette manière, dont les » travées avaient plus de 24 mètres d'ouverture. Le pied des » contre-fiches étant exposé au choc des glaces, on l'avait » couvert de madriers. Le plus grand inconvénient des » ponts de cette espèce est effectivement la facilité avec la- » quelle ils sont détruits et emportés par les glaces : elle est » telle, que dans plusieurs pays il est d'usage de rompre tous » les ans les ponts avant l'hiver, pour les reconstruire quand » les débâcles sont passées (*). »

Je pourrais montrer ici que cet inconvénient n'est pas le seul; mais c'est le plus grand de tous, puisque des brise-glaces ni des madriers ne peuvent mettre entièrement à l'abri

(*) « Traité contenant une partie essentielle de la science de construire les » ponts, par M. Viebeking, 1810, page 105. »

les contre-fiches trop inclinées, qui du reste n'offrent pas, à une certaine distance des palées, autant de résistance, et à beaucoup près, que ces dernières. Dès lors la seule indication d'un défaut aussi grave, et même capital toutes les fois que les localités ne permettent pas d'élever assez les contre-fiches au-dessus du niveau des glaces, suffit pour convaincre que ce n'est point au hasard que j'ai posé cette limite de 20 mètres comme la plus grande portée que l'on puisse raisonnablement donner à cette espèce de ponts, sauf quelques rares exceptions.

PONTS EN BOIS A MOYENNES PORTÉES.

Nous venons de voir qu'en fortifiant les poutres par des soupoutres et par des contre-fiches, Palladio et ses imitateurs sont parvenus à donner aux ponts de la première espèce toute la portée dont ils étaient susceptibles.

Ce grand architecte a été plus loin : il est arrivé, en perfectionnant cette construction, à créer un système d'une portée bien plus grande, sans exposer la charpente des travées aux chocs des glaces et des autres corps entraînés par le courant; tel est le pont, en une seule arche de 33 mètres d'ouverture, qu'il fit construire sur le torrent de Cismone, entre Trente et Bassano. L'ancien pont sur l'emplacement du pont actuel de Saint-Vincent à Lyon, et celui de Saint-Clément sur la Durance, appartenaient l'un et l'autre au système du pont de Cismone, sauf quelques modifications. Le premier avait 29 et l'autre 35 mètres d'ouverture.

« Malgré, dit Gauthey, les avantages de la disposition in-
» ventée par Palladio, il paraît qu'on n'en a pas fait en
» France un grand usage. On imagina, pour suppléer au

» peu de longueur des bois, d'employer une combinaison » d'arbalêtriers et de contre-fiches assujettis les uns aux au- » tres par des moises pendantes. » Il en cite pour exemples le pont de Lanneau en Auvergne et celui de Sault du Rhône. Ce dernier, qui avait plus de 30 mètres d'ouverture, n'a duré que treize à quatorze ans. Gauthey en donne une assez longue description, dans laquelle il critique judicieusement ce genre de construction, dont il démontre tous les vices.

Cependant le Suisse Grubenmann, maître charpentier, donna une très grande extension à ce système. Il construisit, en 1757, sur le Rhin, à Schaffhouse, un pont composé de deux travées. L'une avait 52 mètres, et l'autre 59 mètres de longueur. Ce pont fut brûlé pendant la guerre de 1799; et quoiqu'il fût construit entièrement en bois de sapin, et qu'il donnât un passage très fréquenté à des voitures fortement chargées, il n'avait subi jusque là qu'une seule réparation, qui fut faite, en 1783, par Georges Spengler, charpentier à Schaffhouse.

Mais une construction encore plus remarquable, par le même Grubenmann et son frère Jean, est celle qu'ils ont faite, en 1778, sur la Limmat, près de l'abbaye de Wettingen. Ce pont, pareillement en bois de sapin, n'avait qu'une seule travée de 119 mètres de longueur. Il fut brûlé, comme le précédent, en 1799 (*).

(*) Gauthey, qui a donné les dessins et la description détaillée de ces différens ponts, et de beaucoup d'autres, renvoie à un ouvrage publié en 1803, par Chrétien de Mechel, sous le titre de *Plans, coupes et élévations des trois ponts de bois les plus remarquables de la Suisse.* « Cet ouvrage, dit-il, con- » tient tous les détails de construction des ponts de Schaffhouse et de Wettin- » gen, dont l'étude est très utile. » L'excellent Traité de Gauthey sur la cons-

En 1764, Ritter, aussi maître charpentier, construisit un autre pont en bois de sapin sur le torrent de Kandel, dans le canton de Berne, d'une ouverture de 50,70 mètres.

Ce dernier pont, malgré l'exemple d'une bien plus grande ouverture de travée dans le précédent, me paraît offrir, par la moindre quantité et la bonne disposition des bois qui le composent, la juste limite de portée des ponts de cette espèce. D'ailleurs, rien n'assure que le pont de Wettingen dût avoir une longue durée; et je pense, au surplus, qu'on ne pourrait imiter sans danger une pareille construction.

En effet, l'exagération des portées doit avoir tôt ou tard des conséquences fâcheuses, ne serait-ce que par le trop grand surbaissement des flèches, et par la compression dont les bois sont susceptibles sous d'aussi lourds fardeaux. D'ailleurs les constructions qui sortent de leurs limites naturelles obligent d'employer une immense quantité de matériaux. On est effectivement frappé, à la seule inspection des dessins du pont de Wettingen, de cet énorme échafaudage de bois qui se croisent et se compliquent en tous sens. Il faut une forêt tout entière à un semblable édifice, et nécessairement il doit en résulter des dépenses excessives, que l'on diminuerait beaucoup en adoptant d'autres dispositions.

La vue des dessins du pont de Schaffhouse, dont la plus grande travée a un peu moins de moitié de la portée du pont

---

truction des ponts n'a été publié qu'après lui, par M. Navier son neveu, qui a complété ce grand ouvrage et l'a enrichi de notes importantes et savamment écrites.

On peut consulter aussi avec fruit l'*Encyclopédie*, Palladio, Perronet, Rondelet, Gauthier, Viebeking, etc., etc., etc.

de Wettingen, m'avait déjà inspiré les mêmes réflexions, tout en admirant la hardiesse de ces ouvrages et le génie de leur auteur.

Ainsi, tout bien considéré, tenons-nous-en à notre limite de 50 mètres pour la plus grande portée que l'on puisse raisonnablement donner aux ponts de ce genre.

PONTS EN BOIS A GRANDES PORTÉES.

Quoique le pont de Wettingen offre une ouverture plus grande qu'aucun de ceux que je vais mentionner, je n'ai pas dû le comprendre au nombre des ponts à grandes portées dont je vais m'occuper, parce qu'il appartient entièrement, par le genre de sa construction, au système précédent; qu'il n'en diffère que par la grandeur exagérée de son ouverture, et qu'à cet égard, comme je l'ai dit, il serait imprudent, et surtout fort dispendieux de l'imiter.

A présent il s'agit d'un autre système : au lieu de travées, ce sont des arches composées de plusieurs fermes en arcs de cercle.

Les premières fermes de cette espèce avaient, dans l'origine, la forme de portions de polygones réguliers; mais cette disposition fut bientôt perfectionnée en lui donnant la courbure uniforme des arcs de cercle.

Dans ce système, les fermes s'appuient le plus souvent sur des culées et des piles solides en maçonnerie, mais d'une épaisseur proportionnée à la légèreté des arches et à leur plus ou moins grande ouverture.

C'est Perronet qui, dans ses ouvrages, a donné la première idée et le premier projet d'un pont dont les fermes sont composées de plusieurs cours d'arbalétriers, superposés à joints

recouverts de milieu en milieu, assemblés en crémaillère, et serrés par des boulons. Le pont de la Mulatière, à Lyon, dont la plus grande arche n'a que 17,50 mètres d'ouverture, et celui de Cahors, qui en a 29, ont été construits d'après ce système.

Le pont de Chasey, sur l'Ain, dont les arches n'ont que 19,50 mètres d'ouverture, est le premier dans lequel des pièces courbes, superposées et assemblées à la manière de Perronet, ont remplacé les arbalétriers composés par cet habile ingénieur. Son système était imparfait sans doute, et sujet à de graves inconvéniens, mais il a eu le mérite de mettre ses successeurs sur la voie d'arriver à une plus grande perfection.

Les ponts construits en France sur le modèle du pont de Chasey n'offrent rien de remarquable sous le rapport de la grandeur des arches, car je n'y en connais aucune qui dépasse 32 mètres d'ouverture.

Mais Ritter, qui a imité ce système dans la construction du pont de Mellingen, a donné 48 mètres d'ouverture à l'arche principale de ce pont.

M. Viebeking, directeur général des Ponts et Chaussées en Bavière, est celui qui a donné jusqu'ici la plus grande extension au système de Perronet. Parmi le grand nombre de ponts de ce genre que M. Viebeking a fait construire, ou qu'il a projetés, je me borne à citer celui de Bamberg, en bois de sapin, et celui de Munich. Le premier, qui est très fréquenté et sert de passage à de très lourds fardeaux transportés sur des voitures attelées de douze, et même de dix-huit chevaux, a près de 64 mètres d'ouverture, et 5,10 mètres de flèche; l'autre a 83,50 mètres d'ouverture, et 5,85 mètres de flèche.

Mais on conçoit que ce système pourrait encore être poussé plus loin, en augmentant assez le volume des bois pour qu'ils fussent capables de résister à l'écrasement qu'ils pourraient éprouver par la pression d'une plus forte charge agissant par de plus grands leviers. Je n'ai donc pas hésité, malgré les exemples de beaucoup de ponts à petites et à moyennes ouvertures, construits selon ce principe, à comprendre sous la dénomination générale de ponts à grandes portées, les ponts en bois courbes, parce qu'en effet la construction en arc de cercle est celle qui permet le mieux de donner aux arches les plus grandes ouvertures, avec le moins de danger et la moins grande dépense.

Cependant nous verrons, dans le *Supplément* à l'*Essai sur les ponts à grandes portées*, que ce système est encore très imparfait, et que plusieurs causes contribuent à abréger la durée des ponts de ce genre. J'ai étudié ces causes et leurs effets, et je me suis appliqué à les éviter dans le système pour lequel j'ai obtenu un brevet d'invention.

PONTS EN FER.

Mon système de ponts n'ayant d'autres rapport avec celui des ponts suspendus que par la hardiesse et la légèreté, et leur construction étant d'ailleurs toute différente, je me borne à renvoyer, pour la description des ponts suspendus, aux ouvrages spéciaux de MM. Navier, Séguin et Charles Dupin, qui ne laissent rien désirer à cet égard (3).

La construction des ponts en fer n'offrant jusqu'à présent que deux caractères bien distincts, je la divise en deux classes.

La première comprend tous les ponts dont les fermes sont formées d'un ou de plusieurs arcs concentriques composés de

très grandes pièces courbes en fer fondu. A cette classe appartiennent le pont de Coalbrookdale en Angleterre, et celui des Arts, à Paris.

Le pont de Coalbrookdale, sur la Sewern, commencé en 1773, fut terminé en 1779. Ce monument, qui paraît être le premier pont qu'on ait construit en fer, est l'ouvrage de deux habiles maîtres de forges, John Wilkinson et Abraham Darley. Il n'a qu'une seule arche de 30,60 mètres d'ouverture, supportée par six fermes. Chaque ferme est composée d'un arc fondu en deux pièces assemblées au sommet de l'arche, et de deux portions d'arcs concentriques réunies au premier par des montans normaux assujettis par des boulons.

Le Pont-des-Arts, qui est le premier pont en fer construit en France (en 1803), est composé de neuf arches. Chaque arche, dont l'ouverture est de 18,50 mètres, et la flèche, de 3,25 mètres, est formée par cinq fermes, qui ont pour base un arc en fonte de 162 millimètres d'épaisseur et de 81 millimètres de largeur. Cet arc a été aussi fondu en deux pièces pareillement assemblées au sommet de l'arche.

La seconde espèce de ponts en fer comprend tous ceux dont les fermes sont composées de voussoirs en châssis plus ou moins longs, offrant des jours ou des vides plus ou moins grands. Ces voussoirs sont en général composés de petites portions d'arcs concentriques, réunies entre elles par des montans ou par des diagonales, ou par des cercles ou des ovales en fer fondu. Je me borne à en citer pour exemples le pont d'Austerlitz, à Paris, dont les arches ont 32 mètres et demi d'ouverture et 3 mètres 24 centimètres de flèche; celui de Stains, sur la Tamise, en une seule arche de 54,85 mètres d'ouverture et de 4,88 mètres de flèche, et celui de Wearmouth, sur le Wear, qui offre une arche de

71,91 mètres d'ouverture et de 10,36 mètres de flèche.

Le système des voussoirs en châssis de fer fondu est dû au célèbre Payne, qui le soumit, en 1790, à des expériences en grand, dont le succès fit adopter ce genre de voussoirs pour les ponts en fer construits depuis cette époque.

On trouvera aussi dans Gauthey la description d'un projet de pont composé de voussoirs cylindriques creux en fonte, dont le premier il a eu l'idée, qu'il avait déjà consignée, en 1799 et 1800, dans des rapports officiels. Après Gauthey, ou d'après lui, des ingénieurs étrangers ont eu la même idée; mais j'ignore si l'application en a été faite.

Les ponts en fer, tels qu'on les a construits jusqu'à présent, exigent une si grande quantité de matière, et de si fortes dépenses, surtout en France, où les fers sont d'un prix très élevé, qu'un système dans lequel le fer serait disposé de manière à pouvoir en diminuer la quantité sans nuire à la solidité, offrirait une grande amélioration. Dans l'*Essai sur un nouveau système de ponts à grandes portées*, imprimé à la suite du *Brevet d'invention*, on verra que j'ai offert à cet égard une première idée, que j'aurai occasion de développer un peu plus au long dans le *Supplément* à cet *Essai*.

TÈRE
ÉRIEUR.

RATION
ale
iras,
ulture,
actures,
rce, etc.

AU
actures.

BREVETS D'INVENTION (*),

DE PERFECTIONNEMENT ET D'IMPORTATION

ÉTABLIS PAR LES LOIS DES 2 JANVIER ET 25 MAI 1791.

87. *CERTIFICAT de demande d'un Brevet d'invention de cinq ans, délivré au sieur vicomte de Barrès du Molard, à Valence, département de la Drôme.*

Vu la requête du sieur vicomte de Barrès du Molard (Jean-Scipion-Fleury), chef de bataillon d'artillerie, demeurant à Valence, département de la Drôme, dans laquelle il expose que, désirant jouir des droits de propriété temporaire accordés et garantis aux auteurs et importateurs de découvertes et perfectionnemens en tout genre d'industrie, il demande un Brevet d'invention de cinq ans pour un *Nouveau système de ponts à grandes portées*, qu'il déclare avoir inventé, ainsi qu'il résulte du procès-verbal de dépôt de pièces, effectué sous cachet au secrétariat de la Préfecture du département de la Drôme, le 7 juillet dernier, ledit procès-verbal enregistré le même jour.

(*) Le Gouvernement, en accordant un Brevet d'invention sans examen préalable, n'entend garantir en aucune manière ni la priorité, ni le mérite, ni le succès d'une invention. (Article 2 de l'arrêté du Gouvernement, du 5 vendémiaire an 9, 27 septembre 1800.)

Vu le Mémoire descriptif et les dessins en double, joints à l'appui de ladite requête;

Vu aussi les lois des 7 janvier et 25 mai 1791;

Le Ministre Secrétaire d'État au département de l'Intérieur, s'étant assuré que toutes les formalités prescrites par ces deux lois ont été remplies par le sieur vicomte de Barrès, a fait dresser ce certificat de sa demande d'un Brevet d'invention de cinq ans pour un Nouveau système de ponts à grandes portées; demande dont il lui est provisoirement donné acte, en attendant que, suivant les dispositions de l'arrêté du Gouvernement, du 5 vendémiaire an 9 (27 septembre 1800), ledit Brevet soit rendu définitif par une ordonnance de Sa Majesté, et proclamé par l'insertion de sa spécification au Bulletin des Lois, ce qui aura lieu au commencement du trimestre prochain (2).

Le Ministre ordonne en outre,

1°. Que le Mémoire descriptif et le double des dessins ci-dessus rappelés resteront annexés au présent certificat;

2°. Qu'une expédition en bonne forme de ce même certificat, laquelle devra être suivie de la copie littérale dudit Mémoire descriptif, et de celle desdits dessins, sera transmise cachetée au Préfet du département de la Drôme, pour être délivrée au sieur vicomte de Barrès du Molard.

Paris, le 25 août 1826.

Le Ministre Secrétaire d'État au département de l'Intérieur,

Signé CORBIÈRE.

Suit la copie du Mémoire descriptif.

ESSAI

SUR LA CONSTRUCTION

DE PONTS

A GRANDES PORTÉES,

SELON CE NOUVEAU SYSTÈME (*).

LORSQU'ON projette l'établissement d'un pont, il est des règles générales à suivre, et que l'on ne peut enfreindre sans rendre la navigation périlleuse, sans assujettir le territoire aux débordemens, aux ravages des eaux, sans exposer le pont lui-même à des affouillemens souvent irréparables, puisqu'ils peuvent occasioner son entière et subite destruction. Ces règles fondamentales sont d'éviter l'avancement des culées aux dépens de la largeur du lit de la rivière, de réduire autant qu'on le peut le nombre et l'épaisseur des piles, et d'élever suffisamment les arches. Je rappelle sommairement ces

---

(*) Dans ce premier Mémoire, mon but n'ayant été que de donner la description et d'exposer les preuves de la solidité, de la durée et de l'économie des ponts de ce genre, je n'avais fait l'application directe de ce système qu'à la construction d'une arche composée de six fermes formées de voussoirs en bois avec bandages en fer, et je m'étais borné à indiquer en peu de mots les autres applications dont il était susceptible, particulièrement pour la construction des ponts totalement en fer; mais l'on trouvera des développemens sur cette dernière partie dans le *Supplément à cet Essai.*

principes, afin de montrer combien il importe de donner aux arches la plus grande ouverture possible : disposition qui procure aussi une forte économie de temps et de dépense.

Mais il faut le plus souvent arriver à la hauteur du pont par des chaussées d'une hauteur déterminée, soit horizontalement, soit par des pentes ou contrepentes, qui ne doivent pas avoir plus de 50 millimètres par mètre; alors l'ouverture des arches se déduit des localités : ou bien, lorsque les localités le permettent, la difficulté de faire des arches à très grandes portées, principalement dans la construction des ponts en pierre, dont la courbure est ordinairement en plein cintre ou surbaissée d'un tiers, a posé elle-même une limite qu'il est difficile de franchir; car, indépendamment de la difficulté d'un cintrage hors des proportions ordinaires, souvent il faudrait surbaisser les arches beaucoup plus qu'il n'est d'usage de le faire; et dès lors on devrait renforcer considérablement les culées et les piles, ce qui, outre l'augmentation de la dépense, aurait l'inconvénient de contrarier l'écoulement des eaux : ou enfin, les arches n'étant pas plus surbaissées que de coutume, on tomberait dans ces autres inconvéniens d'être obligé d'élever considérablement la voie du pont, de faire d'énormes maçonneries pour l'arasement des reins de la voûte jusqu'à la hauteur de la clef, et d'élever de hautes chaussées, principalement lorsque le pont serait construit en pays plat.

Ainsi, donner un bon système de ponts à grandes portées, solides, durables, et suffisamment surbaissés pour n'exiger des chaussées que d'une hauteur ordinaire, ce serait déjà rendre à l'État et au Public un service assez important. Mais si à ces avantages ces ponts réunissaient celui de n'occasioner qu'une dépense médiocre pour leur construction, ce serait

alors, en ce genre, parvenir au plus haut point d'utilité.

J'ai dirigé mes recherches vers ce but, que je crois avoir atteint par la combinaison de la force du bois avec celle du fer. Les bois, il est vrai, deviennent chaque jour plus rares; mais on reconnaîtra, dans ce système, qu'au moyen de l'emploi du fer, j'ai ménagé beaucoup celui du bois; et l'industrie qui exploite les mines y gagnera d'autant plus que nos forêts y perdront moins.

Cet emploi simultané du fer et du bois, dans la construction que je propose, m'a fait donner à ce système la dénomination de *ponts mi-bois et mi-fer* à grandes portées.

Je n'ai point en vue présentement de faire un traité complet sur ce nouveau système de ponts : plus tard peut-être je me déciderai à le faire; cela dépendra de la manière dont on accueillera cet Essai, qui n'en est que l'exposé succinct, la description rapide de ses parties principales, et le résumé des preuves de la solidité et de la durée, que l'on doit surtout se proposer d'obtenir dans les travaux de ce genre. Je me borne donc ici à ne décrire qu'un seul pont, pour une rivière de 188 mètres de largeur; mais de celui-ci on pourra facilement déduire tous les autres.

PONT MI-BOIS ET MI-FER A GRANDE PORTÉE, SUR UN FLEUVE DE 188 MÈTRES DE LARGEUR.

On reconnaîtra par la suite que le système que je présente pourrait permettre, pour une pareille largeur, de ne faire que deux arches; mais comme l'observation des règles générales exige que les arches soient en nombre impair, et aussi afin de laisser la navigation de descente libre au milieu du

fleuve, et la navigation de montée libre sur les bords, on a décidé d'en faire trois de 60 mètres d'ouverture chacune. Il reste donc 4 mètres pour l'épaisseur de chaque pile vers la naissance des arches, épaisseur plus que suffisante, eu égard à la grande légèreté du pont (5). Les culées auront un mètre de plus, ou 5 mètres d'épaisseur, et du reste ces culées et ces piles seront fondées et construites d'après les procédés connus, soit sur le rocher, soit sur pilotis, soit sur une aire de béton. Ainsi, sans nous arrêter à la construction des culées et des piles, passons immédiatement à celle des arches d'après ce nouveau système; et comme elles sont ici d'égales dimensions, je me borne, pour abréger, à n'en décrire qu'une seule, représentée par le plan n° 1.

Dans cet exemple, le rayon est égal à la corde de l'arc, c'est-à-dire qu'il est exactement, comme elle, de 60 mètres. La flèche, ou hauteur du milieu de l'arc au-dessus du milieu de la corde, est donc de 8 mètres et 38 millimètres.

Ici la grandeur de la flèche est déterminée par celle de la corde et du rayon; mais si la hauteur de cette flèche était elle-même déjà fixée par la hauteur des chaussées, il faudrait conclure par le calcul la grandeur du rayon; et alors, dans le problème, il n'y aurait de connu que l'ouverture ou la corde de l'arche et sa flèche. Je vais donner une formule bien simple pour la prompte détermination du rayon.

Nommant a la demi-corde, b la flèche, R le rayon, C le cosinus, on trouve

$$R = \frac{a^2 + b^2}{2b} \quad \text{et} \quad C = \frac{a^2 - b^2}{2b},$$

formules dont la traduction numérique conduit à des résultats exprimés par des nombres entiers, ou par des fractions

rationnelles, qui peuvent par conséquent être toujours ramenés à des rapports exprimés aussi en nombres entiers.

Or, dans le cas présent, supposant que l'arche de 60 mètres d'ouverture ou de corde ne dût avoir exactement que 8 mètres de flèche, pour déterminer la grandeur du rayon, on aurait

1°. Le carré de la demi-corde $30 \times 30 = 900$ } 964;
2°. Plus le carré de la flèche $8 \times 8 = 64$ }
3°. Total 964, qui divisé par 16 (deux fois la flèche)...................... = 60,25 ou 60 $\frac{1}{4}$.

Ainsi, le rayon serait exactement de 60 mètres et un quart de mètre.

Pareillement, si la même arche de 60 mètres d'ouverture ne devait avoir que 6 mètres de flèche, on ajouterait au carré
de la demi-corde .... 900 } 936,
le carré de la flèche.................... 36 }
et l'on diviserait le total 936 par deux fois la flèche, c'est-à-dire par 12; opération qui donnerait 78 mètres pour la grandeur du rayon.

La flèche, dans ce dernier cas, n'est que la treizième partie du rayon et la dixième partie de l'ouverture de l'arche; et c'est, dans ce système, le cas du plus grand surbaissement. Je sais bien que des voûtes en briques sont souvent beaucoup plus surbaissées, et que des arceaux en bois pourraient l'être encore davantage; mais, après bien des calculs, j'ai pris cette limite pour n'avoir à redouter aucun mécompte, aucun accident désastreux; et je préviens qu'elle est principalement motivée sur la grandeur respective de l'intrados et de l'extrados de chaque pièce de charpente considérée comme voussoir, et sur la plus forte poussée à raison du plus grand surbaissement des arches.

Et, dans tous les cas, l'ouverture et la flèche d'une voûte étant données, on déterminera toujours par cette formule (ou par celle qui la suit, relative au cosinus), et d'une manière très exacte, la grandeur du rayon qui doit décrire la courbure de cette voûte. La simplicité même de ces formules a pu seule me déterminer à les offrir ici; car je ne perds pas de vue que, quoique mon travail doive être jugé par les savans et par les gens de l'art, il doit être aussi à la portée des ouvriers constructeurs, et ne leur présenter que des moyens qui n'aient rien d'épineux pour eux dans la pratique. Après cette explication, revenant à notre système de ponts, je vais entrer dans les détails de la construction d'une arche.

CONSTRUCTION D'UNE ARCHE DE 60 MÈTRES D'OUVERTURE ET DE 8,038 MÈTRES DE FLÈCHE.

Dans la construction qui nous occupe, le rayon devant être égal à la corde, l'arc sera donc la sixième partie de la circonférence d'un cercle ayant 120 mètres de diamètre. Ainsi le développement de l'arche sera de 62 mètres 857 millimètres.

Cette arche sera composée de six arceaux (*) pareils à celui qui est figuré par le plan n° 1. Ces six arceaux seront établis parallèlement entre eux, et liés invariablement les uns aux autres par des traverses, comme on le verra bientôt, afin d'obtenir par leur réunion une arche solide.

Les naissances des arceaux parallèles composant l'arche seront pratiquées, par *entaillement* exact, dans les paremens intérieurs des culées et des piles, à un mètre au-dessus des

(*) Les arceaux parallèles, plus ou moins espacés entre eux, et dont la réunion forme une arche, sont appelés *côtes* ou *fermes* par les constructeurs. Dans le *Supplément* à cet *Essai*, je leur ai donné le plus souvent cette dernière dénomination, qui est la plus en usage en France.

plus hautes eaux, afin que la corde de l'arche leur soit aussi supérieure d'un mètre. Le milieu de l'arche sera donc élevé, au-dessus des plus hautes eaux, de la grandeur de la flèche plus un mètre, c'est-à-dire de 9,038 mètres.

Chaque arceau sera composé de 17 pièces de bois (*) d'égale longueur, sciées dans la direction du centre de l'arc, dont elles affecteront la courbure uniforme. Ainsi, une arche étant formée par six arceaux parallèles sera composée de 102 pièces de charpente, tenant lieu de voussoirs. Ces pièces auront toutes un demi-mètre d'équarrissage.

Les bois voussoirs seront très jointifs entre eux, et assemblés dans de forts sabots en fer fondu (**), dans lesquels chaque bout des voussoirs pénétrera de 80 millimètres. Ils seront de plus bandés continûment en-dessus et en-dessous par de doubles bandages en fer, fixés sur chacune de ces pièces de bois voussoirs par plusieurs boulons de 40 millimètres de diamètre et à deux vis à filets carrés, les écrous devant leur tenir lieu de têtes.

Ces doubles bandages seront chacun composés de bandes en fer de 200 millimètres de largeur et de 14 millimètres d'épaisseur, appliquées sur toute la longueur des voussoirs, en-dessus et en-dessous, et d'autres bandes de 140 millimètres de largeur, et aussi de 14 millimètres d'épaisseur, appliquées sur les premières bandes; en sorte que, l'épaisseur de chaque double bandage étant de 28 millimètres, l'épaisseur totale

(*) Voyez au *Supplément*, le dernier paragraphe de l'article intitulé *De la forcedes voussoirs*

(**) Il y aurait grande économie à substituer aux sabots en fer fondu, et on le pourrait principalement pour les arceaux d'une moindre étendue, des goujons en fer de 54 millimètres de diamètre et de 160 millimètres de longueur, placés au centre des bouts des voussoirs et les pénétrant chacun de 80 millimètres.

des bandages supérieur et inférieur sera de 56 millimètres sur une largeur moyenne de 170 millimètres.

Ces bandes ou barres en fer seront liées entre elles par superposition de leurs extrémités maintenues par des boulons communs aux unes et aux autres vers leurs bouts, évitant ainsi de les réunir par soudure. Les bouts des arceaux seront enveloppés par les mêmes bandes, de manière à ce que le bandage inférieur soit la continuation du bandage supérieur, et qu'il n'y ait nulle part interruption dans ce bandage.

Les six arceaux composant une arche seront assujettis entre eux et retenus de l'un à l'autre par des poutres transversales de 330 millimètres d'équarrissage (*). Ces traverses sont indiquées sur le plan, ainsi que les tirans en fer qui réunissent, rang par rang, les sabots en fer fondu, tout comme les piliers qui supportent le tablier du pont et s'appuient sur ces traverses. D'autres poutres transversales forment les chapeaux, aussi rang par rang, de ces piliers. Elles supportent quinze cours de solives de 220 millimètres d'équarrissage, sur lesquelles le platelage repose. Les madriers qui le composent ont 65 millimètres d'épaisseur.

Les parapets seront construits à l'ordinaire; ils auront un mètre et demi de hauteur.

Tous les fers et les bois qui entrent dans la composition du pont, à l'exception du platelage, seront revêtus de trois couches de bonne peinture à l'huile (**). Ces bois seront tous en

---

(*) J'ai passé sous silence les autres accessoires plus ou moins nécessaires, tels que diagonales, contrevents, moises, etc., ces moyens secondaires étant suffisamment connus.

(**) Depuis la remise de cet écrit au Ministère de l'Intérieur, M. Prosper Coste, capitaine au corps royal de l'artillerie, officier distingué et avantageusement connu par deux ouvrages imprimés, l'un intitulé *Recherches balisti-*

chêne de Bourgogne ou de Champagne, à l'exception du platelage, qui sera en peuplier commun de France.

Telle est l'exposition sommaire de la construction d'une arche. Il me reste à développer le moyen de la mettre en place; c'est l'objet de l'article suivant.

DE LA POSE DES ARCEAUX.

Le système de ponts que je viens de décrire est si simple que j'ai eu peu à dire pour en faire connaître la construction dans ses principales parties. Mais il me reste encore, avant de passer à l'examen raisonné de ce système, pour en montrer la solidité et la durée, une tâche importante à remplir, celle de la pose des arceaux composant une arche; car c'est là l'objet qui doit le plus fixer l'attention.

En effet, les arches seront d'abord totalement construites et assemblées sur le chantier, où toutes les pièces seront numérotées, afin de pouvoir les remettre exactement à leur place, lorsqu'on les établira ultérieurement sur les culées et les piles. Le travail au chantier sera simple, et n'offrira aucune difficulté; mais la pose définitive des arceaux exigera des préparations et des manœuvres de force importantes.

---

ques sur les vitesses initiales, le recul et la résistance de l'air; l'autre, *Des Déviations, ou de la Probabilité du tir des projectiles*, m'a donné l'idée de séparer les voussoirs en bois par des plaques en plomb d'une à deux lignes d'épaisseur, qui auraient pour but d'empêcher l'eau de pénétrer entre les joints et d'amortir les coups trop vifs et trop secs qu'ils pourraient éprouver. Le plomb est préférable à tout autre métal, parce qu'il se prête mieux aux inexactitudes de la coupe de joint des voussoirs. J'avais pensé que trois couches de peinture sur toutes les faces jointives produiraient le même effet; mais les plaques en plomb ne sont pas à dédaigner, et j'en ferai quelques essais.

Mon intention n'est pas de les développer ici, m'en réservant le secret jusqu'au moment de l'exécution; c'est pourquoi, faisant abstraction de ces manœuvres, je dois poursuivre mon sujet comme si je n'en avais aucune en vue. Je vais donc donner la construction d'un échafaudage solide, au moyen duquel les arceaux pourront être assemblés en leur place sur le fleuve. Cet échafaudage est représenté par le deuxième plan.

Il est composé de deux parties principales adossées et d'égales dimensions. Elles s'appuient l'une et l'autre, d'un côté, sur les culées ou les piles en maçonnerie, et de l'autre, sur une fausse pile en bois, que l'on enlève avec l'échafaud après la construction de l'arche.

Cette fausse pile, placée exactement au milieu de l'arche, est composée de six piliers en bois entés sur pilotis, et bandés comme on le voit sur le plan. Ces piliers, également espacés, sont placés dans l'alignement exact des entailles pratiquées dans les paremens intérieurs des culées ou des piles pour la naissance des arceaux. Un chapeau composé de fortes poutres les réunit par le haut, et deux traverses en fer boulonnées les réunissent aussi vers leur milieu; en sorte que le tout compose une fausse pile solide.

Et comme cet échafaud est composé, ainsi que je l'ai dit, de deux parties principales adossées, il suffit ici d'en décrire une seule.

La longueur AC du demi-échafaud étant égale à la moitié de l'ouverture de l'arche, est donc de 30 mètres de portée, moins la demi-épaisseur de la fausse pile. L'impossibilité de donner, sans appui, à aucune poutre autant de portée, m'a mis dans la nécessité de chercher le moyen d'employer des poutres d'une grandeur ordinaire, en les arc-boutant et les liant solidement entre elles, comme je vais l'expliquer.

Deux poutres AB, BC, de 416 millimètres d'équarrissage, prennent leur appui, l'une sur la culée ou la pile en maçonnerie, l'autre sur la fausse pile en bois, et se contre-buttent en B à une hauteur telle que la flèche BM ait 4 mètres de hauteur. Ainsi ces poutres ou pièces buttantes ont chacune 15 mètres 524 millimètres de portée. Elles sont surmontées d'un fort chapeau en bois S, et arrêtées par un double bandage GFB.

Deux fortes semelles en bois T, T reposent sur les bouts A et C des deux pièces buttantes AB, BC, et sont pareillement bandées et boulonnées sur elles, comme le plan l'indique. De plus, sur ces pièces, par un encastrement réciproque de 70 millimètres (ce qui, avec les semelles, procure des culées factices invariables, indépendamment des culées en maçonnerie), s'assemblent d'autres pièces de bois, pareillement buttantes, HI, IG, GF, FD, DE, qui trouvent leur appui contre le chapeau S et contre les semelles T, T, et sont aussi fortement bandées et boulonnées vers les points I, D, E, F, G, H. Les pièces de bois LI, NK (*), sont comprises dans les bandages en fer, en I et D, et disposées de manière que LI, IG, GF, FD, DN, forment une seule ligne horizontale.

Le chapeau S et les semelles T, T sont coupés dans la direction des rayons O'H, O'G, O'F, O'E. Ces rayons sont égaux à la distance d'une des semelles en bois au chapeau.

Deux verges en fer V, V soutiennent les pièces de bois

(*) Ces deux pièces de bois sont ponctuées sur le plan, parce qu'elles ne ont pas partie de cette construction comme échafaudage pour l'établissement de l'arche; mais elles seraient nécessaires s'il s'agissait de construire un pont de cette espèce, comme on le verra à la fin de cet article.

AB, BC, par leur milieu, et ne leur permettent pas de fléchir sous leur propre poids; et des traverses en fer ou en bois les réunissent chacune, vers le tiers et les deux tiers de leur longueur, aux autres pièces buttantes parallèles dont il va être question, les lient et les maintiennent toutes ainsi dans leur rectitude latérale. Il en est de même pour les pièces buttantes supérieures, qui sont maintenues vers leur milieu par d'autres traverses exprimées comme les premières sur le plan.

Je passe sous silence les autres accessoires, que le plan indique suffisamment.

Cinq autres charpentes, semblables à celle que je viens de décrire, sont disposées parallèlement à celle-ci, et à la même hauteur, sur la culée ou la pile en maçonnerie, et sur la fausse pile en bois. D'autres traverses réunissent par le haut les six charpentes parallèles; sur ces traverses reposent des poutrelles, et sur ces dernières des madriers formant le platelage de l'échafaud.

Les pièces de bois AB, BC, ayant ensemble 524 millimètres de plus que l'ouverture AC, il est évident qu'au besoin le point B pourrait être considérablement surbaissé, sans nuire à la solidité, et que, dans tous les cas, le fardeau, sur quelque point qu'on le suppose, agissant en très grande partie dans le sens de la longueur des bois, presse principalement vers les points d'appui, c'est-à-dire vers le chapeau S et vers les semelles ou culées factices en bois T, T. Ces semelles soulagent considérablement les culées et les piles; et c'est au point que si l'échafaud devait être permanent pour servir de passage sur une rivière, on pourrait affaiblir ou réduire beaucoup l'épaisseur de ces piles en maçonnerie. De plus, le fardeau se trouve réparti sur des pièces de bois soutenant le platelage, dont la

plus longue n'a que 7 mètres de longueur sur le même équarrissage de 416 millimètres.

Or, l'on trouve par le calcul qu'une pièce de bois de cette longueur et de cet équarrissage peut être constamment chargée, sans crainte d'accident, de 720 quintaux (*). Ainsi, une telle pièce de bois, avec les cinq autres semblables, parallèles et correspondantes à celle-ci, supporteraient ensemble un plancher chargé de 4320 quintaux, et l'échafaud entier serait susceptible de porter plus de 40000 quintaux répartis sur toute son étendue. Mais le poids total des six arceaux, réuni à celui des buttes et des traverses provisoires pour les mettre en place, ne dépassant pas 4000 quintaux, il en résulte qu'il y a un très grand excès de force dans cet échafaud.

Et cette construction est si forte en effet, qu'elle peut même servir de modèle à un autre système de ponts presque aussi solides et durables, et bien moins coûteux que les premiers, mais, il est vrai, pour des ouvertures ou travées de moyenne grandeur, et qui ne dépasseraient pas de 40 à 50 mètres, sauf encore à renforcer l'équarrissage des bois en proportion de leur plus grande portée.

J'ai donné à cet autre système de ponts, que je me réserve de développer un jour, la dénomination de *ponts en bois buttans*.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LA SOLIDITÉ ET LA DURÉE DU PONT.

Nous avons vu que le développement des arceaux est plus grand que leur corde, de 2 mètres 857 millimètres : en

(*) Dans cet Ouvrage, le quintal équivaut à 50 kilogrammes.

continuant le calcul, on trouve que leur extrados a 514 millimètres de plus que leur intrados; et comme un arceau est composé de 17 voussoirs en bois, il en résulte que l'extrados de chaque voussoir excède leur intrados d'environ 31 millimètres. On ne saurait donc craindre la séparation des voussoirs par glissement; car l'extrados, étant plus long que l'intrados, ne peut venir occuper la place de ce dernier. De plus, la pression vers les bouts des voussoirs résultant du propre poids des arceaux et de toute la charge de la partie du tablier qu'ils ont chacun à soutenir, contribue grandement à les resserrer, à les unir les uns aux autres; et les sabots en fer fondu, dans lesquels leurs bouts viennent s'encastrer exactement sur une étendue de 80 millimètres, sont un autre obstacle invincible à leur séparation. Les nombreuses traverses et tirans en bois et en fer qui réunissent les uns aux autres ces arceaux parallèles sur toute la largeur de l'arche, les maintiennent invariablement, comme je l'ai déjà dit, dans leur rectitude latérale. Il résulte, en un mot, de la combinaison et de l'assemblage de toutes les parties de cette construction, qu'elle offre la plus grande solidité, en admettant que les bois et les fers sont d'un équarrissage et d'un échantillon de force suffisante. C'est seulement de la force des bois employés comme voussoirs, abstraction faite de celle qu'ils reçoivent des doubles bandages en fer, dont je vais présentement parler, renvoyant, pour ce qui concerne la force et la ténacité des fers, afin d'éviter des répétitions, à ce que j'en dirai dans la Discussion qui termine cet Essai.

En calculant le poids d'une arche toute construite, d'après les dimensions données aux bois et aux fers qui la composent, on trouve que ce poids est inférieur à 300000 kilog., lesquels, répartis sur les six arceaux parallèles d'une arche, reviennent

à 50000 kilog. par arceau; et comme chacun d'eux est composé de 17 pièces de charpente d'égale longueur, chaque pièce a à supporter moyennement un poids de 2941 kilog., ou près de 59 quintaux. Ainsi la question se réduit à celle-ci : quel poids une pièce de bois de chêne de 3 mètres 698 millimètres de longueur sur un demi-mètre d'équarrissage, étant scellée par les bouts, peut-elle porter? D'après les expériences de Buffon, Bélidor et autres, on trouve qu'une telle pièce de bois peut porter sur son milieu, avant l'instant de se rompre, un fardeau de 4730 quintaux, et rester constamment chargée sur son étendue, sans risque d'accident, de la moitié de ce poids, ou de 2365 quintaux; en sorte que les six pièces de bois voussoirs parallèles et correspondantes pourraient porter ensemble un plancher constamment chargé de 14190 quintaux, y compris le poids de ce plancher. Et certes, voilà une force bien supérieure à tout fardeau dont ces pièces pourront être jamais chargées : mais le seraient-elles même davantage, qu'on n'aurait pas à craindre leur rupture; car faisant partie, comme voussoirs, des arceaux, le fardeau qu'elles supportent agit tangentiellement en grande partie dans le sens de la longueur des bois; et l'on sait que, dans ce sens, ils peuvent porter des poids incomparablement plus considérables que dans l'autre sens. D'ailleurs les doubles bandages en fer fortifient chaque arceau, dans un rapport égal à tout le tirage dont les fers de cet échantillon sont susceptibles. Ce tirage est très considérable, comme nous le verrons par la suite.

Il ne peut donc rester aucun doute sur la force et la solidité du pont. Quant à sa durée, elle sera bien plus grande que celle de tout autre pont en bois, puisqu'il reposera sur des culées et des piles en maçonnerie, et qu'il ne s'agira, pour prolonger la durée des arches, que d'entretenir en bon état

la peinture des bois et des fers. Mais une des causes principales qui lui assurent une bien plus longue durée qu'aux autres ponts en bois, c'est la manière dont le fardeau agit; car, dans ce nouveau sytème, le plus grand effort a lieu, comme je viens de le dire, dans le sens de la longueur des bois, tandis que dans les anciens ponts le fardeau tend à détruire les pièces vers le milieu de leur portée. Ces pièces, à la longue, perdent leur ressort, s'affaiblissent et se rompent inopinément.

De plus, ces anciens ponts sont le plus souvent établis sur pilotis ou sur chevalets, lesquels se trouvant alternativement immergés ou à sec, selon le plus ou le moins d'élévation des eaux, subissent ainsi cette autre cause d'une plus prompte destruction. Enfin, comme les arches des anciens ponts n'ont pas une grande portée, il leur faut un plus grand nombre de piliers ou de chevalets qui obstruent le passage des eaux et arrêtent les barques, les moulins sur bateaux et les bois de toute espèce, que les fleuves et les rivières charrient pendant les inondations. Il en résulte souvent des désastres, et quelquefois même la chute du pont, comme c'est arrivé l'année dernière à Lyon.

Ce n'est donc pas trop présumer, que d'assigner à ces nouveaux ponts une durée trois fois plus considérable qu'aux anciens ponts en bois. Ils seront d'ailleurs tout aussi faciles à réparer; et enfin, après une longue suite d'années, lorsqu'il faudra refaire entièrement les arches, on trouvera les culées et les piles toutes faites, et l'on aura de bons débris en bois, et surtout en fer, dont la valeur atténuera considérablement la dépense. Dans tous les cas, soit qu'il s'agisse de construire ou de reconstruire, cette dépense sera toujours bien inférieure à ce qu'elle serait pour les autres ponts en bois, comme je vais le montrer dans l'article qui suit.

Aperçu de la dépense pour la construction d'un pont d'après les dimensions du plan n° 1.

MAÇONNERIE.

Les piles et les culées en pierre de taille, fondées sur béton, contiennent ensemble, y compris les parapets, près de 5212 mètres cubes, lesquels, à 33 fr. le mètre, fondation en béton et taille des pierres comprises, font environ . . 172000 fr.

BOIS.

Il entre dans la composition des dix-huit arceaux formant les trois arches du pont près de 300 mètres cubes de bois de chêne. Ces bois d'un fort échantillon devant être d'un choix soigné, on peut évaluer le mètre cube à 325 fr., frais d'échafaudage, pose et peinture compris, ci 97500

Il faut de plus, pour les traverses en bois, pour les piliers, les chapeaux, les parapets, et généralement tous les bois qui entrent dans la construction des trois arches du pont, 450 mètres cubes de bois de chêne ou de peuplier commun de France, lesquels, à raison de 200 fr. le mètre cube, aussi frais d'échafaudage, pose et peinture compris, font 90000

FERS.

J'évalue les fers de bandage, les boulons, les sabots en fer fondu, et généralement tous les fers qui entrent dans la composition des arceaux, du tablier du pont, de ses supports et traverses, à environ 100000 kilog., lesquels, à raison de

359500

Report	359500 fr.
1 fr. 50 c. le kilog., aussi frais d'échafaudage, pose et peinture compris, font	150000

DÉPENSES IMPRÉVUES.

J'estime les dépenses imprévues à un dixième de la dépense ci-dessus, vu qu'il s'agit d'une première construction	50950
	560450

BÉNÉFICE DES ENTREPRENEURS.

Comme pour toutes les autres constructions par entreprise, cet article est porté ici à un dixième de la dépense totale, ci	56045
Total général de la dépense pour l'entière construction du pont	616495 fr.

Comme, pour abréger, j'ai réparti les frais d'échafaudage sur les divers articles de dépense pour la confection du pont, il n'y a pas lieu de présenter ici les frais particulièrement relatifs à la construction et à l'enlèvement de cet échafaud.

Du reste, dans cet aperçu, les prix ont été portés au plus haut, parce qu'une première construction est toujours beaucoup plus dispendieuse que les suivantes.

On a calculé que sur le même emplacement, un pont suspendu à des câbles en fil de fer, et de 7 mètres de largeur, coûterait 450000 fr. L'aperçu que je viens de donner pour un pont construit d'après mon système, sur dix mètres de largeur, montre qu'en réduisant cette largeur à celle d'un pont suspendu, la dépense en serait à peu près la même.

Enfin, l'on trouve dans l'état suivant, extrait du rapport du Ministre de l'Intérieur, à l'ouverture de la session législative de 1813, parmi le nombre des ponts construits sous l'Empire, plusieurs ponts en bois d'une moins grande étendue que celui que je viens de décrire, et dont les prix ont été bien plus considérables.

Pont de Verceil.	560000 fr.
Pont de la Scrivia.	300000
Pont de Tours.	3000000
Pont de Tilsit, à Lyon.	3000000
Pont de l'Isère (brûlé par le maréchal Augereau, en 1814) et autres petits ponts sur cette route.	4000000
Pont de la Durance.	1500000
Pont du Pô, à Turin.	3500000
Pont de la Doire.	1100000
Pont de Bordeaux.	6000000
Pont de Rouen.	5000000
Pont de Rouanne	2400000
Ponts de Serin et de l'arsenal, à Lyon. .	1200000
Pont d'Avignon.	1000000
Pont de Givet.	700000
Pont de Vey.	1500000
Pont d'Arves.	350000
Ponts de Laune, de Moissac et d'Agen. .	7000000
Pont de Sèvres.	2000000
Pont de Saint-Cloud.	800000
TOTAL.	44910000 fr.

Je ne terminerai pas cet article sans prévenir que j'ai cal-

culé que si l'on voulait construire, d'après mon système, des ponts d'une plus grande durée, en substituant aux voussoirs en bois, des voussoirs en fer d'une force suffisante, il n'en coûterait pas plus de 800000 fr. pour la construction d'un pont d'égales longueur et largeur que celui dont j'ai donné le plan : et de plus, que si l'on voulait substituer des fers aux traverses et piliers en bois, en un mot, avoir un pont totalement en fer, à l'exception des poutres, solives et madriers composant le tablier, la dépense arriverait à peine à un million de francs. Mais ne pourrait-on pas m'objecter avec quelque fondement, que pour une aussi grande portée des arches, le pont ne fût alors sujet à éprouver de fortes vibrations? Cette objection, que je me suis faite, m'a déterminé à passer légèrement sur ce sujet, ne faisant en effet que l'énoncer ici, sous la réserve de l'examiner ultérieurement de plus près, pour en faire par la suite, s'il y a lieu, une complète description; et me bornant présentement à insinuer, tant pour la construction en fer, que pour la construction en bois, que les vibrations, et en même temps la pression contre les culées, seraient bien moins considérables, si les arceaux étaient extradossés inégalement, en donnant progressivement plus d'épaisseur aux voussoirs vers les culées que vers le milieu de l'arche. (*Voy.* au Supplément: *De la force des voussoirs.*)

DISCUSSION

Sur les principaux inconvéniens que l'on pourrait objecter contre ce système de ponts.

Nous venons de voir que la construction des ponts que je propose présente une solidité et une durée bien plus grandes que celles de tout autre pont en bois ; que l'échafaudage servant à la pose des arceaux peut aussi, dans certains cas, servir de modèle pour des ponts permanens, solides et durables, mais d'une moins grande portée ; et que, dans tous les cas, ces nouvelles constructions seront moins dispendieuses que celles des anciens ponts en bois, et ne le seront pas plus, à longueur et largeur égales, que celles des ponts suspendus.

Il me reste, avant de terminer cet Essai, à discuter les principales objections que l'on pourrait faire : celle de la dilatation des fers, et celle de l'extension et du retirement des bois.

La dilatation du fer étant, par degré de Réaumur, d'environ $\frac{1}{75000}$, et la différence entre le plus grand degré de froid et de chaleur, en France, se trouvant à peu près de 50 degrés, il en résulte que la dilatation totale du fer exposé, dans ce pays, à tous les temps, est de $\frac{1}{1500}$ entre le plus grand degré de froid et le plus haut degré de chaleur. Ainsi, en posant les bandages des arceaux à une température moyenne, la dilatation du fer ne pourrait jamais présenter qu'une différence de $\frac{1}{3000}$ en plus ou en moins, avec l'état de ce métal au moment de sa pose sur les arceaux.

Or, ces arceaux ont 62 mètres 857 millimètres de développement, dont la trois-millième partie (environ 21 millimètres, ou près de 9 lignes 4 points) est l'expression de la dilatation, dans nos contrées, des bandages en fer d'un arceau

de 60 mètres d'ouverture. C'est si peu de chose, que dans la pratique il n'y a pas à en tenir compte, la courbe de cet arceau ne pouvant subir par cette cause aucune altération, aucun changement sensible; et d'ailleurs les doubles bandages en fer étant solidement arrêtés sur les bois voussoirs par de forts et nombreux boulons, la résistance de ces bois tendra à diminuer encore l'effet de la dilatation des bandages en fer dans le sens de leur longueur.

Ainsi l'objection tirée de la dilatation du fer serait nulle ou presque nulle, et, dans la construction qui nous occupe, il n'y a pas à en redouter les effets, ni même à en tenir compte.

A l'égard de l'extension des bois par l'effet de l'humidité et de leur retirement par celui de la siccité, il en résulterait sans doute de graves inconvéniens, soit par le changement de la courbe des arceaux, soit par une grande poussée contre les culées, si dans ce système les voussoirs étaient coupés dans le sens de la largeur ou de l'épaisseur des bois; car, dans ce sens, leur extension et leur retirement sont très considérables; mais dans celui de la longueur des bois, ces variations sont peu sensibles, et ne dépassent pas, comme je m'en suis assuré par de nombreuses expériences, celles qui ont lieu pour les fers par l'effet de la dilatation et de la contraction, depuis le terme de la congélation jusqu'à celui de l'ébullition de l'eau, et réciproquement.

Voici les résumés ou les résultats de plusieurs de ces expériences. Les bois sur lesquels elles ont été faites avaient été mesurés étant très secs, avant leur immersion dans un réservoir d'eau douce où on les a laissés tremper pendant 18 jours, au bout desquels ils ont été retirés et mesurés de nouveau.

DÉSIGNATION DES BOIS.	LONGUEUR avant leur IMMERSION.			LONGUEUR après L'IMMERSION.			Dilatations.
	pi.	po.	lig.	pi.	po.	lig.	lig.
Poutre en chêne de 15 pouces sur 12 d'équarrissage	36	2	3	36	2	6 ½	3 ½
Poutre en chêne de 12 pouces sur 12 d'équarrissage	36	»	»	36	»	2 ⅓	2 ⅓
Poutrelle de 4 pouces 6 lignes sur 4 pouces 6 lignes d'équarrissage	14	»	»	14	»	» ½	» ½
Poutre en mélèze de 12 pouces sur 12 d'équarrissage	30	3	»	30	3	4 ⅓	4 ⅓
Poutrelle en mélèze de 4 pouces sur 2 pouces 6 lignes d'équarrissage	8	8	»	8	8	» ¾	» ¾
Poutre en sapin blanc de 14 pouces sur 14 pouces d'équarrissage	40	»	»	40	»	3 ½	3 ½
Poutre en sapin blanc de 14 pouces sur 10 d'équarrissage	34	»	6 ½	34	1	»	5 ½

Il résulte de ces expériences que les poutres qui se sont le plus dilatées, se sont allongées, savoir : le chêne de $\frac{1}{1489}$, le mélèze de $\frac{1}{1005}$, et le sapin blanc de $\frac{1}{890}$.

Cette dernière dilatation est à peu près égale à celle du fer, depuis le terme de la congélation de l'eau jusqu'à celui de l'ébullition; mais comme les bois composant les arceaux seront peints ou goudronnés, et en quelque sorte abrités, jamais ces bois ne seront exposés à subir une pareille dilatation, puisqu'ils ne pourront jamais être autant pénétrés d'eau qu'ils l'ont été après une immersion totale pendant dix-huit jours.

En supposant, ce qui est exagéré, que la dilatation du bois de chêne fût dans cette construction de $\frac{1}{3000}$, l'arc total ne pourrait jamais s'étendre ou se raccourcir que d'environ 21

millimètres ou près de 9 lignes 4 points, et par conséquent la courbe resterait à peu près la même qu'au moment de la construction (*).

Remarquons aussi que le tirage ou la force de traction du fer, qui est ici très considérable, comme nous le verrons bientôt, peut comprimer les bois, et arrêter jusqu'à un certain point leur mouvement dans le sens de leur longueur; ou bien que si la force d'extension ou de retirement des bois surpassait celle du tirage des fers, ces fers suivraient eux-mêmes le mouvement de ces bois; et comme, dans cette construction, leur dilatation respective en longueur est à peu près la même, il en résulte que des bois et des fers si fortement liés entre eux seront inséparables, et subiront ensemble les mêmes variations. Et en supposant même que la force du fer soit la plus faible, il est évident qu'il n'aura à supporter, par le tirage que le bois exercera sur lui, qu'une extension égale à celle que 25 degrés seulement de chaleur pourraient lui occasioner; ce qui ne saurait altérer sa ténacité.

Du reste, comme ces variations pour les fers, ainsi que pour les bois (que l'on peut d'ailleurs diminuer en posant les uns et les autres dans des températures moyennes de chaleur et d'humidité), sont nulles ou presque nulles en pratique, comme nous l'avons vu, il n'y a pas plus à en tenir compte dans la construction proposée pour les bois que pour les fers.

Mais relativement au tirage ou force de traction des fers, les doubles bandages des arceaux ayant ensemble 170 millimètres de largeur moyenne, et 56 millimètres d'épaisseur,

(*) Outre que la dilatation des bois, dans le sens de leur longueur, est peu considérable, dans cette construction elle doit se confondre et se perdre pour ainsi dire dans les joints des voussoirs, et devenir ainsi tout-à-fait insensible.

on trouve, d'après les expériences de Sikingen et les résultats donnés par Gassendy et autres auteurs, que le tirage ou la traction dont ces doubles bandes en fer sont susceptibles est de 651429 kilogrammes (*), déduction faite du vide pour le passage d'un boulon.

Dans la construction des ponts en pierres de taille, l'extension ou la dilatation des cintres en bois est comprimée, non-seulement dans le sens de leur longueur, mais encore en partie dans celui de leur épaisseur; et, quelle que puisse être cette dilatation, par le passage des bois de l'état de la plus grande siccité à celui de la plus grande humidité pendant le temps de la construction des arches, il est certain que cette compression a lieu, sans quoi il y aurait variation et même grand désordre dans la courbe ou dans les culées; ce qui est si évident, que je n'insisterai pas davantage sur ce point.

On a calculé que dans le cintrage d'un pont, la dilatation par chaque mètre cube de bois est comprimée, avant l'achèvement d'une arche, sous un fardeau de 13500 kilog. (**); et comme chaque arceau, dans la construction qui nous occupe, est composé d'environ 16 mètres cubes de bois, la force comprimant leur dilatation, qui est ici la force de traction des doubles bandages en fer, devrait donc être de 216000 kilogrammes; mais nous venons de voir qu'elle est de 651429 kilogrammes, ce qui procure un excès de force ou de traction

(*) Erreur du copiste; lisez *livres*. J'avais fait mes calculs en demi-kilogrammes, parce que j'avais adopté le quintal de 50 demi-kilogrammes comme unité de mesure pour des poids si considérables, que les petites fractions pouvaient être négligées sans inconvénient. Cette erreur s'est propagée dans le deuxième paragraphe suivant.

(**) Lisez partout, dans ce paragraphe, *livres* ou *demi-kilogrammes*, ainsi que je l'ai expliqué dans la précédente note.

de 435429 kilogrammes. Et de plus, le fardeau que chaque arceau a à supporter, lorsque le tablier du pont est posé, contribue aussi grandement à la compression des bois.

Nous avons vu, par des expériences en grand et nombreuses, que la dilatation ou extension des bois est peu considérable dans le sens de leur longueur, quoique ces expériences aient été faites sur des pièces pénétrées d'eau autant que possible. D'après les précautions prises dans cette construction, l'extension en longueur des bois composant les arceaux sera donc presque nulle. Il en sera de même à l'égard des doubles bandages en fer, lesquels étant pareillement peints, parfaitement abrités et mis à l'ombre par le tablier du pont, ne pourront subir qu'une faible dilatation.

Ainsi, comme que l'on considère la question relativement à l'extension des bois et à la dilatation des fers, il n'y a rien à redouter de leur part dans ce système de ponts; au contraire, il résulte de cette combinaison des forces respectives des bois et des fers que, se prêtant un mutuel secours, tout le système lui-même en reçoit une force et une solidité à toute épreuve.

Mais il est une autre objection que je ne veux pas passer sous silence, et qu'il me reste par conséquent à réfuter : « Des » bois de cet équarrissage, disposés bout à bout, seraient-ils » assez forts pour ne pas fléchir sur une telle longueur et sous » un pareil fardeau? »

Pour apprécier cette objection à sa juste valeur, je vais lui donner toute l'extension possible. D'abord, je veux bien ne tenir aucun compte de la résistance des doubles bandages en fer, et supposer ensuite que le poids d'un arceau et de la partie du tablier qui lui correspond presse entièrement dans le sens longitudinal sur une pièce de bois de même équarrissage et de même longueur que cet arceau dont le développe-

ment est, comme on l'a vu, de 62m857, ou près de 63 mètres. Ainsi la question se réduit à celle-ci : quel fardeau une colonne verticale en bois de chêne d'un demi-mètre d'équarrissage et de 63 mètres de hauteur peut-elle constamment supporter, y compris son propre poids?

On a calculé, d'après de nombreuses expériences, qu'une colonne en même bois, d'un mètre de base et de 1295 mètres de hauteur, fléchirait sous son propre poids; et l'on trouve, par la formule sur la résistance des bois verticaux, et toutes déductions faites, que la colonne d'un demi-mètre de base sur 63 mètres de hauteur pourrait supporter sans fléchir un poids permanent de 20000 quintaux, en évaluant même très largement ces déductions, ainsi que je l'ai fait d'après les considérations suivantes : 1° que la colonne qui nous occupe étant composée de 17 pièces de bois, chacune égale en longueur au développement d'un des voussoirs de l'arceau, il en résulte qu'elle offre moins de résistance que si elle était formée d'une seule pièce; 2° que le fardeau n'agit pas entièrement dans le sens de la longueur des voussoirs; 3° que les bois n'ont jamais l'entière intégrité qu'on leur suppose dans le calcul; 4° que la charge des arceaux n'est point, dans cette construction, répartie selon les proportions nécessaires pour obtenir un équilibre parfait; 5° qu'il est enfin toujours convenable, dans la pratique, d'augmenter les dimensions des matériaux (ainsi que je l'ai fait généralement pour tous ceux qui entrent dans la construction du pont) jusqu'au point où l'on ne peut plus raisonnablement craindre l'insuffisance de leur force.

Mais puisque, d'une part, il est reconnu par le calcul que, toutes déductions largement faites, un arceau ne fléchirait pas sous un fardeau permanent de 20000 quintaux; que,

d'autre part, on a vu qu'une arche toute construite pèse moins de 6000 quintaux, et que par conséquent le poids afférent à chaque arceau est inférieur à 1000 quintaux, il s'ensuit que, dans le sens longitudinal, les bois voussoirs ont une force pour le moins vingt fois plus grande que celle qui les presse par les bouts.

Ainsi il existe encore sous ce rapport un grand excès dans la force des bois, indépendamment de celle qu'ils empruntent des bandages en fer, et malgré les suppositions les plus défavorables sous lesquelles j'ai à dessein posé la question, afin de ne laisser aucun doute sur la solidité du pont, de quelle manière qu'on la considère.

Telles sont les principales objections que l'on pourrait faire contre ce système de ponts; telles sont les raisons à leur opposer.

J'ajoute, pour en finir sur de pareilles objections ou sur d'autres semblables, que si elles m'étaient faites, je répondrais par une infinité d'exemples tirés des constructions connues, dans lesquelles on emploie des bois et des fers de toute longueur, sans qu'on ait remarqué de tels inconvéniens; et je dirais enfin qu'il n'y aurait aucune grande construction possible, si l'on s'arrêtait à des causes ou à des effets tels que ceux dont il vient d'être question, et qui forment cependant les principales objections que l'on pourrait faire contre ce système de ponts.

Mais ces objections, je les ai rapportées à dessein, parce qu'en les réfutant on arrive à résoudre des questions utiles pour connaître la force qu'il faut donner aux bois et aux fers, selon l'ouverture plus ou moins grande des arches, selon les fardeaux plus ou moins lourds dont les arceaux devront être chargés.

C'est ainsi que, pour tous les cas, l'on parviendra, par la solution de questions analogues, à déterminer avec certitude, par le calcul le plus simple, quelles sont les dimensions que l'on devra donner aux pièces de bois, pour qu'elles puissent résister au fardeau dans le sens horizontal et dans le sens vertical; quelles sont celles que devront avoir les fers pour qu'ils soient propres à concourir suffisamment à la solidité des arceaux, et qu'ils aient un tirage ou une force de traction supérieure ou du moins égale à la force de la dilatation des bois, afin d'en atténuer les effets.

Et c'est ainsi, comme on l'a vu, que, par la combinaison bien entendue de la force des fers avec celle des bois, l'on obtient toute la solidité désirable.

Je m'étais proposé, en commençant cet Essai, d'exposer brièvement le système de ponts que j'avais à décrire : si j'ai rempli en effet ce but, en peu de pages, c'est que mon sujet est si simple en lui-même qu'il n'a pas besoin de longs développemens. Les constructions que je propose sont à la portée de tout le monde; elles pourront être saisies par les ouvriers constructeurs et appréciées à leur juste valeur par les gens de l'art, après qu'ils auront soumis ce système à des examens, à des calculs rigoureux. Quant à moi, qui m'y suis livré avec la plus sévère attention, je me flatte d'avoir offert ici un système de ponts à grandes portées, durables et peu dispendieux. J'ai fait beaucoup de recherches et un grand nombre d'expériences; je possède de nombreux matériaux qui pourront un jour me servir de fondement à un travail complet sur les ponts en bois et en fer, dont je viens de faire une rapide description.

Je me réserve au surplus d'étendre par la suite ce système d'arceaux et d'échafaudage, en l'appliquant à des voûtes, à des planchers, à des charpentes de toits et à d'autres construc-

tions particulières, dont la légèreté, l'élégance, la solidité et en même temps l'économie offriront, j'espère, des avantages appréciables. J'en ferai aussi l'application au cintrage des ponts en briques, en tufs et en pierres dures, lesquels auront de même leur place, ainsi que d'autres monumens publics, dans le traité que j'annonce devoir faire paraître plus tard, si le succès que j'ambitionne obtenir présentement se réalisait au point de m'encourager dans l'entreprise d'un ouvrage complet sur les diverses constructions qui peuvent ressortir du système dont je viens d'offrir dans cet Essai un aperçu succinct, à l'occasion des ponts mi-bois et mi-fer à grandes portées.

Valence, le 6 juillet 1826.

Signé LE VICOMTE DE BARRÈS.

Pour expédition conforme.

Le Ministre Secrétaire d'État de l'Intérieur.

Signé CORBIÈRE.

Sur chaque plan, n° 1 et n° 2, déposé avec le mémoire descriptif, a été ajouté ce qui suit :

Dessin déposé par le sieur vicomte de Barrès du Molard, à l'appui de la demande d'un Brevet d'invention de cinq ans, déposée à la préfecture du département de la Drôme, le 7 juillet 1826.

Paris, le 25 août 1826.

Le Ministre Secrétaire d'État au département de l'Intérieur.

Signé CORBIÈRE.

SUPPLÉMENT

A

L'ESSAI SUR LA CONSTRUCTION

DES

PONTS A GRANDES PORTÉES,

SELON CE NOUVEAU SYSTÈME.

Dans l'écrit qui précède, je n'avais pu donner à mon sujet tous les développemens qu'il comporte, ainsi que je l'ai expliqué dans l'*Avis au lecteur :* mon but est donc de traiter présentement les points principaux de mon système, qui jusqu'ici ne l'ont pas été suffisamment. Je ne parlerai point des dispositions relatives à l'établissement du tablier et des garde-corps, ni des traverses, contrevents, diagonales, moises et contre-fiches, plus ou moins nécessaires, ces moyens secondaires étant trop connus pour s'y arrêter, et d'ailleurs l'invention ne consistant que dans le système des arcs, autrement dits fermes des arches. Ainsi c'est de ce système seul qu'il s'agira dans ce Supplément, afin de ne point arrêter inutilement l'attention sur des accessoires connus de tous les constructeurs, et qui ne sont point en discussion.

Les questions principales à discuter sont celle-ci :

1°. Les bois voussoirs ont-ils la force nécessaire pour résister aux pressions longitudinales et transversales?

2°. Les sabots en fer fondu, ou, en remplacement, les goujons et les étriers en fer, appliqués aux bouts des voussoirs, sont-ils capables de les assujettir entre eux assez fortement?

3°. Et d'ailleurs les bandages en fer appliqués à l'extrados et à l'intrados des fermes ont-ils la ténacité nécessaire pour s'opposer suffisamment à la désunion des voussoirs vers les points de rupture de l'arc?

L'examen de ces questions sera donc le sujet de ce Supplément, qui contiendra en même temps quelques autres aperçus en faveur de mon système.

DE LA FORCE DES VOUSSOIRS.

Il est aisé de reconnaître, par la décomposition des forces, suivant les différentes portions d'arcs que l'on considère et les flèches ou les normales de ces arcs, que dans ma construction les bois seraient plutôt exposés à l'écrasement qu'à la flexion. Il importe donc d'envisager la question sous ce point de vue : « Les bois voussoirs ont-ils grandement la force nécessaire pour résister aux pressions qui s'exercent sur leurs bouts? »

Nous allons d'abord reconnaître quelle est cette pression.

Soit P la pression; Q la moitié du poids total supporté par une ferme, au moment de l'épreuve prescrite, et y compris son propre poids; *a* la demi-corde de l'arc; *b* sa flèche, on trouve, par la décomposition des forces, selon ces données,

$$P = Q\frac{\sqrt{(a^2+b^2)}}{b}.$$

Dans l'exemple dont il s'agit, puisque $a = 30$ mètres, et $b = 8{,}88$ mètres, y compris l'épaisseur de l'arc, on trouve $\frac{\sqrt{(a^2 + b^2)}}{b} = \frac{31{,}282}{8{,}88}$, à une très petite fraction près.

D'où $P = \frac{31{,}282}{8{,}88} Q$, qui exprime la pression sur la partie inférieure du voussoir appliqué aux naissances.

La pression sur les autres voussoirs est moins considérable et va en diminuant jusqu'au milieu de l'arc, où elle est exprimée par $P' = \frac{c}{b} Q$, c désignant la portion de la demi-corde b, déterminée par une verticale abaissée sur cette demi-corde du centre de gravité du fardeau réparti sur la moitié de l'arc que l'on considère.

Il est évident que c ne peut être aussi grand que la moitié de a, qu'autant que le centre de gravité du fardeau se trouverait précisément sur le milieu de la demi-ferme, et que l'arc en serait suffisamment surbaissé pour pouvoir le considérer, sans erreur sensible, comme étant composé de deux arbalétriers droits, au lieu d'être courbes. Toutefois, et afin d'abréger, j'admets d'autant plus volontiers cet état de choses, qu'en résultat, l'équarrissage des voussoirs vers le milieu de l'arche en devrait être un peu plus fort qu'il n'est rigoureusement nécessaire.

Ainsi, soit donc $c = \frac{a}{2}$, ou $c = 15$; dès lors $P' = \frac{c}{b} Q$ devient $P' = \frac{15}{8{,}88} Q$ pour le maximum de pression vers le milieu de l'arche.

Pour faire l'application numérique de ces formules, on se rappellera que, dans l'Écrit qui précède, la partie du poids de l'arche afférent à chaque ferme, y compris le sien

propre, est de 1000 quintaux; et ajoutant à ce poids, pour une ferme, le sixième de celui de l'épreuve prescrite après la construction du pont, c'est-à-dire $\frac{2400}{6}$, à raison de 4 quintaux par mètre superficiel du plancher, on aura

$$Q = \frac{1000 + 400}{2} = 700 \text{ quintaux.}$$

Substituant cette valeur de Q dans les expressions ci-dessus, on trouve

$$P = 2466 \text{ quintaux, et } P' = 1182 \text{ quintaux.}$$

La pression exercée vers les naissances est donc, pour le cas présent, un peu plus du double de celle qui a lieu au milieu de l'arche; et l'on peut par conséquent, ainsi que je l'ai insinué ailleurs, extradosser inégalement les fermes en arcs de cercle, et donner aux voussoirs progressivement plus d'épaisseur vers les naissances qu'à la clef.

Mais bornons-nous ici à considérer la résistance des voussoirs comparativement à la pression P, qui est la plus forte.

Ces voussoirs ayant un demi-mètre d'équarrissage, leur surface de coupe verticale est de 250000 millimètres carrés. On sait que la résistance du bois de chêne, à la compression ou à l'écrasement, est de 4 kilog. par millimètre superficiel : la résistance totale est donc ici d'un million de kilogrammes, ou de 20000 quintaux.

Il faut ajouter à cette résistance à la compression celle des bandages en fer, qui ont ensemble 170 sur 56 millimètres de section, ou 9520 millimètres carrés. Le fer ayant une résistance à la compression de 50 kilog. par millimètre superficiel, celle des bandages dont il s'agit est donc de 9520 quin-

taux, qui, ajoutée à celle des voussoirs en bois, procure une résistance totale de 29520 quintaux, résistance douze fois plus grande que la plus forte pression P.

S'il s'agissait d'employer des voussoirs en fer fondu, coulés pleins, selon mon système, il serait aisé de reconnaître, par les formules précédentes, la force qu'il faudrait leur donner. Le fer fondu ayant la propriété de résister principalement à la compression, si à l'assemblage des voussoirs en fonte indiqués par le plan on ajoutait des bandages en fer, il y a lieu de croire que l'on obtiendrait, par cette double combinaison, beaucoup de solidité et la plus grande durée.

En considérant que le fer fondu a une résistance à l'écrasement de 100 kilog. par millimètre carré, tandis que celle du bois de chêne n'est que de 4 kilog., on peut juger d'un coup d'œil, d'après les précédens calculs, qu'il ne faudrait pas une très grande quantité de matière pour remplacer les voussoirs en bois par des voussoirs en fonte, et que la dépense n'en serait pas plus forte que je l'ai indiqué ailleurs.

Mais pour rendre les voussoirs inflexibles et invariables de forme, et par conséquent prévenir les vibrations et les déformations, il faudrait, 1° qu'ils fussent extradossés inégalement dans les proportions que j'ai indiquées; 2° que leur longueur n'excédât pas vingt fois leur épaisseur; 3° que l'assemblage des fermes fût des plus solides, afin de les maintenir parfaitement dans leur rectitude latérale; et alors, indépendamment des traverses, il faudrait aussi des diagonales ou des contrevens soigneusement assemblés, ce qui est d'une exécution facile, particulièrement dans les assemblages en fer.

Tout considéré, je serais donc porté à préférer dans mon système les voussoirs en fer fondu aux voussoirs en bois, mais ils ne le seront point par ceux qui recherchent la plus stricte

économie au lieu de la plus grande durée. Au surplus, depuis la remise à l'autorité de mon premier écrit pour l'obtention du Brevet, j'ai eu l'idée de remplacer les voussoirs en bois, qui prennent leur appui contre les culées et les piles, par des pièces en fer fondu solidement comprises et arrêtées dans la maçonnerie. Ces pièces en fonte auraient extérieurement une saillie suffisante pour pouvoir y fixer et boulonner fortement les doubles bandages en fer, tandis que leur surface de joint avec le voussoir s'y appliquant serait exactement coupée comme lui dans la direction du centre de l'arc. Dès lors, au lieu de dix-sept voussoirs en bois que l'on voit dans la construction représentée par le plan, il n'en resterait, pour chaque ferme, que quinze en bois et deux en fer fondu; et par là il n'y aurait plus à craindre, par l'effet de la pourriture, la plus prompte destruction des voussoirs compris dans la maçonnerie, que celle des autres voussoirs en bois.

DES SABOTS EN FER FONDU.

Dans certains cas, lorsque l'ouverture des arches n'est pas très grande, on peut substituer aux sabots en fer fondu, comme je l'ai dit dans l'Essai sur ce système de ponts, des goujons en fer faisant l'office de l'encastrement mutuel des voussoirs par mâle et femelle, et des étriers à brides et boulons appliqués vers les bouts des voussoirs.

Quoiqu'il paraisse au premier coup d'œil que cet assemblage, qui remplit ici les fonctions du mortier dans les arceaux en pierres de taille, serait suffisant pour le maintien des voussoirs à leur place, toutefois craignant, plutôt par sentiment que par le calcul qui assure le contraire, qu'un tel assemblage n'offrît pas à la longue toute la résistance nécessaire pour

s'opposer entièrement au jeu de cette espèce d'articulation vers les joints des voussoirs, j'ai ajouté les doubles bandages en fer, au moyen desquels une ferme devient en quelque sorte un arceau formé d'une seule pièce. Ici se présente donc tout naturellement l'examen de la troisième question, auquel je vais passer, sans autre digression sur la deuxième, me bornant à ce que j'en ai dit dans l'Essai sur ce système de ponts et aux détails donnés par les plans.

DES BANDAGES EN FER.

On sait que de toutes les manières d'employer le fer, la plus avantageuse est celle par laquelle il doit résister à la traction et à la compression. C'est ainsi qu'il est destiné à agir dans mon système de fermes en arcs de cercle, dans lesquelles il ne peut y avoir de flexion vers les points de rupture, sans allongement et compression à la fois des bandages en fer, savoir :

Allongement du bandage supérieur vers les points de rupture des reins, et du bandage inférieur vers le milieu de l'arc;

Compression du bandage inférieur vers les points de rupture des reins, et du bandage supérieur vers le milieu de l'arc.

Dans ce système, en supposant les bandages en fer suffisamment forts pour résister à la traction, à plus forte raison résisteront-ils à la compression (*).

(*) La résistance du fer forgé à la compression est au moins d'un quart plus considérable que sa résistance à la traction, et le fer fondu résiste dix fois de plus à la compression qu'à la traction.

La résistance totale à la traction des bandages en fer, supérieur et inférieur, étant de 6514 quintaux, déduction faite du vide pour le passage d'un boulon (*Essai*, page 45), c'est pour un de ces bandages 3257 quintaux; et la résistance à la compression de l'autre bandage, sans déduction du vide, étant de 4760 quintaux, c'est donc 8017 quintaux pour l'expression des résistances combinées des deux bandages. De plus, il faut y ajouter le quart de la résistance à l'écrasement d'un voussoir en bois, c'est-à-dire 5000 quintaux (*).

Ainsi, l'on a une force totale de 13017 quintaux, résistant à la fois vers un point quelconque de rupture de l'arc, pour s'opposer au jeu de l'articulation et à la déformation qui en résulterait.

Il s'agit présentement de reconnaître quelle est la force qui sollicite cette déformation. Je vais poser la question sous le point de vue le plus défavorable à mon système, afin de ne laisser aucun doute sur sa résistance.

A cet effet, je considérerai la ferme comme étant composée de deux arbalétriers droits, ce qui, du reste, dans un arc aussi surbaissé, ne s'écarte pas trop de la réalité. Alors le point où la rupture est le plus à craindre de chaque côté de la ferme se trouve évidemment à la jonction du premier voussoir en fer, solidement compris et arrêté dans la maçonnerie, avec le voussoir voisin en bois.

Supposons que la longueur de ce premier voussoir en fer soit telle que la partie en bois d'un arbalétrier se trouve réduite

---

(*) A la rigueur, l'on pourrait ajouter le double de cette quantité; mais alors il faudrait supposer d'avance que le système des voussoirs, d'un point de rupture à l'autre, est assujetti de manière à pouvoir considérer une ferme comme étant composée de trois pièces, chacune invariable de forme.

à 30 mètres de longueur; enfin rappelons-nous que la flèche, plus l'épaisseur de l'arc, est de 888 mètres, et qu'elle est chargée, au moment de l'épreuve, de 700 quintaux, moitié de la charge de la ferme entière.

Décomposant les forces d'après ces données, on trouve que la traction et la compression qui s'exercent à la fois vers le point de rupture le plus menacé sont de 2365 quintaux.

Or, nous venons de voir que les résistances combinées vers ce point sont de 13017 quintaux ; quantité bien plus grande que celle de tension et de compression résultant de la décomposition des forces dans le paragraphe précédent. Il est donc prouvé, d'après ce qui précède, que l'assemblage des voussoirs a beaucoup plus que la force nécessaire pour rendre le système tout-à-fait invariable de forme.

D'autre part, les voussoirs ayant, comme on l'a vu, un équarrissage bien plus que suffisant pour résister aux pressions longitudinales, c'est-à-dire à l'écrasement de leurs bouts, à plus forte raison, dans le cas présent, résisteront-ils à la flexion.

C'est si évident, qu'il suffit de l'énoncer. J'ai d'ailleurs traité indirectement cette question dans l'Essai, page 46, en ramenant la pression au poids entier afférent à une ferme, et en supposant ce poids placé sur le sommet d'une colonne verticale de même base que la section transversale d'un voussoir, et d'une hauteur égale au développement de l'arc entier. En considérant ainsi la question, c'est avoir donné un vaste champ aux concessions; car, par la décomposition des forces et l'application des formules ordinaires, j'aurais obtenu un résultat encore plus favorable. Dans le calcul dont je parle, je n'ai pas fait entrer, il est vrai, le fardeau de l'épreuve du pont, qui est de 400 quintaux par ferme; mais la résistance

réduite par ce surcroît de charge eût été encore quatorze fois plus grande que l'effort, car étant dégagée de ce fardeau d'épreuve, elle avait été trouvée vingt fois plus forte.

AVANTAGES RÉSULTANT DE CE SYSTÈME DE PONTS.

J'ai exposé au commencement de cet ouvrage les divers systèmes de ponts en bois et en fer pratiqués jusqu'à ce jour, et dans cette exposition j'ai montré comment l'on est successivement arrivé à perfectionner l'art de construire de tels édifices.

Sans aucun doute, le système des fermes en arcs de cercle est préférable à tout autre (pag. 14 et suiv.), parce qu'il permet, avec moins de matière, et par conséquent avec moins de dépense, de faire de plus grandes arches.

Mais jusqu'à présent la méthode adoptée pour la construction de ces fermes n'a pas offert une longue durée, puisque la plupart des ponts construits en France, selon ce système, qui est assez récent, n'ont eu qu'une courte existence. Le pont de Choisy-sur-Seine, que, dans des ouvrages justement estimés, l'on avait présenté comme un modèle du genre, n'a subsisté que 15 ans. Le passage, qui en fut livré au public en 1811, lui en est dans ce moment interdit, à dater du 1er octobre 1826.

Depuis mon arrivée à Paris, et par conséquent depuis la remise de mon premier écrit à l'Autorité, j'ai reconnu le défaut de construction des fermes composées de courbes superposées. J'avais déjà préjugé ce défaut en adoptant des voussoirs d'une seule pièce, au lieu de cette superposition de courbes, afin de pouvoir construire des arches de la plus grande portée, et suffisamment surbaissées pour n'exiger des chaussées que d'une

hauteur ordinaire. J'aurai rempli ce but, si, dans ma construction, les voussoirs en bois ou en fer fondu sont suffisamment liés et assujettis entre eux, comme je crois l'avoir prouvé.

Et cette preuve faite, mon système doit être préféré à celui de plusieurs cours de courbes superposées et assemblées en crémaillère.

En effet, si, dans les premiers temps de la construction du pont, les courbes assemblées de cette manière jouissent ensemble à peu près de la même force que si elles ne formaient qu'une seule pièce égale en épaisseur à l'épaisseur totale des divers cours de courbes superposées, des exemples multipliés, et tout présentement celui du pont de Choisy, montrent que cet assemblage s'affaiblit assez rapidement jusqu'au point d'entraîner la destruction entière des arches. Il y a trop de surfaces de joint, dans lesquelles l'eau s'insinuant et séjournant plus ou moins, occasione la prompte pourriture des bois, précisément vers les points où ils doivent offrir la plus grande résistance. Enfin, les courbes superposées ont une grande disposition à se séparer, par l'effet de la dilatation et du retirement, qui sont très considérables dans le sens de la largeur des bois; et leurs surfaces de joint par les bouts peuvent d'autant plus facilement être altérées et comprimées, que ces surfaces sont plus petites. Cependant on sait d'ailleurs que, dans les arches très surbaissées, la diminution de la flèche suit une proportion bien plus grande que celle de l'arc.

J'ai donc cherché à opposer aux pressions l'entière surface de joint des voussoirs, c'est-à-dire la plus grande résistance possible, et à éviter tout autre joint. Enfin, j'ai montré par de nombreuses expériences que la dilatation des bois dans le sens de leur longueur, étant presque nulle, ne peut nuire à ma construction, tandis qu'elle lui serait très préjudiciable si

j'avais admis des joints dans l'autre sens des bois. Par là aussi j'ai réduit, autant que possible, le nombre et l'étendue de ces joints, qu'il sera par conséquent fort aisé de garantir des infiltrations de l'eau.

Ainsi, ce motif déterminant de préférence que je viens de montrer en faveur de mon système peut être mis au premier rang parmi ceux que j'avais indiqués relativement à la plus longue durée de l'espèce de pont que je propose (pag. 33 et suiv.).

Pareillement, l'on aura remarqué que mon système de voussoirs en fer fondu, assujettis par encastrement mutuel de mâle et femelle, par des renforts boulonnés tout autour, enfin par des bandages en fer appliqués à l'extrados et à l'intrados comme pour les voussoirs en bois, offre la plus grande solidité par la très forte résistance du fer fondu à la compression, par celle du fer forgé à la traction, et, en un mot, par cette triple combinaison de réunion intime et inséparable des voussoirs entre eux, que présente ce système.

A l'égard de la dépense des ponts mi-bois et mi-fer, on a vu, dans l'Essai qui précède ce Supplément, qu'elle est la moindre de toutes pour des arches de même longueur et de même largeur, selon les différens systèmes pratiqués jusqu'à présent. Il en serait de même pour les ponts en fer fondu et en fer forgé que je propose, comparativement aux autres ponts en fer, comme je vais bientôt le prouver.

Les fermes de ces derniers ponts, généralement composées de châssis en fer fondu, exigent l'emploi d'une si grande quantité de matière, que la dépense serait le plus souvent hors de proportion avec les produits du droit de passage; et par conséquent ce genre de construction est presque toujours interdit à des Particuliers ou à des Compagnies, qui fondent leurs dé-

penses sur les produits de ces droits. Il n'en est pas ainsi dans mon système, qui, ayant toutes ses parties disposées pour la plus grande résistance, n'exige que la moindre quantité de matières.

D'ailleurs, les châssis en fer fondu ont l'inconvénient d'éprouver des brisemens dans les pièces qui les composent, tandis que mes voussoirs coulés pleins et maintenus, indépendamment de leur propre assemblage, par des bandages en fer d'une force supérieure à tout effort, ne seraient pas sujets à des accidens de ce genre; ou du moins il est de toute probabilité que ces accidens seraient ici bien plus rares, et du reste qu'ils tireraient moins à conséquence, car il n'est pas vraisemblable que de tels brisemens eussent lieu sur plusieurs fermes à la fois, et en même temps sur les pièces en fer fondu et sur les pièces en fer forgé.

Me voici donc parvenu à ce point où je crois avoir prouvé tout-à-fait que mon système de ponts à grandes portées offre la plus grande solidité, beaucoup de durée et une forte économie, comparativement aux autres constructions de ce genre, soit en bois, soit en fer. Et ici se terminerait la tâche que j'avais à remplir, si je n'avais à ajouter quelques autres considérations relatives à la construction de ponts entièrement en fer, mais qui peuvent s'appliquer aussi aux fermes des ponts mi-bois et mi-fer.

M. le baron Charles Dupin, dans son bel ouvrage intitulé *Voyage dans la Grande-Bretagne*, a donné les détails de construction du pont de fer de Southwark, en trois arches. L'ouverture de celle du milieu est de 73,15 mètres; et celle des arches latérales est de 64,01 mètres. La largeur du pont est de 15,41 mètres. Chaque arche est composée de huit fermes

extrêmement plates, comme on va le voir. Ces fermes sont divisées en deux parties principales bien distinctes : 1° le *cintre*, qui n'a que 6 centimètres de largeur, mais dont l'épaisseur ou hauteur est de 2,44 mètres vers les naissances, et de 1,83 mètre vers le milieu de l'arche; 2° le *tympan* à claire voie, qui règne depuis le cintre jusqu'à la plate-forme du pont. Le poids total des fers qui sont entrés dans la composition de ce pont est de 5667775 kilogrammes (*).

Il est aisé de calculer qu'un pont en trois arches de cette étendue, et construit selon mon système de voussoirs massifs et coulés pleins, n'emploierait au plus que 945000 kilogrammes de fer, ou à peu près la sixième partie de celui qui est entré dans la construction du pont de Southwark. C'est sans contredit un magnifique et solide monument; mais ceux que je propose, avec moins de dépense, ne lui céderaient ni en solidité, ni même en magnificence, si l'on voulait y consacrer quelque dépense à l'ornement; car ils seraient moins surchargés, et leurs parties principales n'en auraient que plus d'harmonie entre elles et avec leurs accessoires.

Mes voussoirs en fer, il est vrai, ne présentent moyennement que des surfaces de joint d'environ 18 à 19 décimètres carrés, plus ou moins, selon la grandeur des arches; mais il faut remarquer que leur volume tout massif résiste entièrement aux pressions longitudinales et transversales, aux déformations et aux brisemens, qui ne peuvent même avoir lieu lorsque la longueur des voussoirs est dans une juste proportion avec leur équarrissage.

(*) Voir à cet égard le tom. 1 de la 3e partie, *Force commerciale*, page 260 et suivantes de l'ouvrage cité, qui contient une description fort intéressante de ce pont.

Remarquons encore ici une fois que l'union des voussoirs entre eux est intime et inséparable; 1° par l'encastrement mutuel de leurs bouts; 2° par leurs renforts boulonnés sur les quatre faces dans le sens longitudinal des voussoirs; 3° par les doubles bandages en fer appliqués à l'intrados et à l'extrados des fermes, et pareillement boulonnés dans le sens vertical.

Sans aucun doute, cette triple réunion des voussoirs entre eux, qui remplit ici l'office du mortier dans les arceaux en pierres de taille, ou du plâtre dans les voûtes en briques, procure une résistance autrement grande que celle qui résulte de la force de cohésion du plâtre et du mortier.

Cependant des voûtes d'une assez grande étendue et très surbaissées, construites en briques minces posées à plat, subsistent par la seule force de cohésion du plâtre; et parmi beaucoup de voûtes en pierres de taille ou en moellons d'une faible épaisseur, on en cite une (Gauthey, tom. II, page 325) de 26 mètres de longueur, qui n'a que 8 à 10 centimètres d'épaisseur. Il est vrai que cet habile Ingénieur se hâte d'ajouter, avec raison, que cet exemple n'est pas à suivre; mais il n'en est pas moins certain que la force de cohésion du mortier a suffi pour empêcher la rupture de cette voûte immense relativement à sa faible épaisseur.

Ainsi, pour une arche de 60 mètres d'ouverture, des voussoirs en fer fondu, d'une épaisseur cinq à six fois plus grande vers leurs joints que celle de cette voûte, présenteraient évidemment toute la résistance désirable, par ce seul point de comparaison qui corrobore tous mes calculs; et comme l'assemblage de ces voussoirs est aussi parfait et aussi fort qu'il est possible de l'imaginer, il n'y a aucun doute que ce système n'offre la plus grande résistance et la plus longue durée.

On sent que, dans l'exécution, il ne serait pas facile d'en-

castrer les voussoirs du milieu des fermes; mais on suppléerait aisément à cet encastrement par des rouleaux ou tourillons en fer forgé de 60 à 70 millimètres de diamètre, traversant les bouts de ces voussoirs dans le sens de leur largeur, de manière que l'axe des tourillons fût parallèle aux faces d'intrados et d'extrados, et passât par le milieu de la surface de joint. Ainsi ces tourillons s'encastreraient transversalement, moitié dans un voussoir, moitié dans l'autre; ils seraient rivés ou vissés, si on le préférait, sur les faces verticales des voussoirs. Au lieu de tourillons, l'on pourrait employer avec autant de succès des chevilles carrées de 56 millim. de côté, et déprimées par leurs bouts en sens différens, pour être serrées et arrêtées fixement par des coins en fer forgé comme ces chevilles; ou enfin, les voussoirs de la clef pourraient s'encastrer transversalement en tiroir, l'un ayant à cet effet une rainure, pour recevoir de l'autre une languette saillante.

A l'égard des voussoirs en bois du milieu des fermes, il y aurait une disposition analogue à prendre : leurs bouts pourraient être saisis par deux demi-sabots en fonte, reliés par des boulons, comme pour les renforts des voussoirs en fer fondu; ou bien de fortes frettes à brides et boulons remplaceraient dans cette partie les sabots.

Et du reste, à l'égard des renforts, tout comme à l'égard des sabots en fer fondu, on pourrait même à la rigueur s'en passer tout-à-fait, s'il est bien reconnu que les fers de bandage ont effectivement le degré de force que les expériences du marquis de Poleni, desquelles je vais parler tout-à-l'heure, donnent lieu de leur supposer (*). Toutefois, pour le présent,

(*) La force des bandages en fer étant une fois reconnue, on pourrait, dans bien des cas, remplacer les voussoirs en bois et en fer par des voussoirs

conservons tous les moyens de résistance du système, et ne précipitons pas prématurément l'abandon d'aucun de ces moyens.

Mais si, dans certains cas, principalement lorsque l'ouverture des arches n'est pas très grande, on jugeait à propos de supprimer les renforts, la quantité de fer fondu qu'ils emploient pourrait être destinée à augmenter d'autant l'équarrissage des voussoirs, si on le croyait nécessaire; sinon, ce serait là une forte économie de fer.

Cependant, pour les grandes constructions, on jugera sans doute ces renforts nécessaires, parce qu'ils offrent, comme on l'a vu, avec de plus grandes surfaces de joint, un assemblage des plus solides (*).

J'ajoute enfin que la résistance des bandages en fer sera

en pierre dure, en tuf, en brique, et même en plâtre et en maçonnerie de petit blocage (pierres factices), bandés, comme les autres voussoirs, à l'intrados et à l'extrados; il ne s'agirait que de leur donner les dimensions nécessaires en équarrissage et en longueur pour les mettre en état de résister grandement à l'écrasement et à la flexion. Et du reste, on pourrait relier ces voussoirs par leurs joints avec un mortier composé de la meilleure chaux connue. Les chaux du Teil, de Cruas, de Mirmande, ont une force d'adhérence si grande, que les démolitions des bâtisses où ces chaux ont été employées sont fort difficiles; car les pierres se brisent plutôt que le mortier ne s'en sépare, et souvent même on est obligé de faire jouer la mine. La chaux du Teil est la plus forte des trois. Il en faudrait une si petite quantité pour les joints des voussoirs, qu'il n'y aurait pas beaucoup de frais à faire pour se la procurer.

(*) Je ne saurais trop m'expliquer sur la force de cet assemblage. A mesure de la pose de chaque voussoir, dès que l'encastrement est opéré, on fixe les renforts qui se joignent par quatre boulons (un pour chaque face) qui les traversent perpendiculairement au plan du joint, tandis que les boulons des bandages en fer sont dirigés dans le sens normal opposé, ainsi que le plan l'indique : en d'autres termes, et en un mot, les boulons qui traversent les resforts sont parallèles à la corde, et ceux qui fixent les doubles bandages en fer sont dirigés vers le centre de l'arc.

d'autant plus grande (et par conséquent bien au-dessus de mes calculs), que l'on peut considérer les bandes d'intrados et d'extrados comme un système encore plus parfaitement lié que ceux pour lesquels M. Duleau a trouvé « que la résistance » du système, dans le plan qui coupe les deux pièces, est à » celle du même système supposé plein, comme $E^3 - e^3$ est » à E^3, E étant l'épaisseur totale et *e* celle du vide (4). »

D'autre part, les expériences que le marquis de Poleni a faites à Rome, sur la force de traction du fer forgé, apprennent que la résistance d'un cercle de fer à un effort qui s'exerce du centre à la circonférence, est six fois plus grande que sa résistance à une traction en ligne droite. Cependant dans mes calculs, quoique la traction des bandages s'exerce sur un arc de cercle, et que ces bandages forment entre eux un système bien plus parfait que celui que M. Duleau a éprouvé, je n'ai admis que la résistance ordinaire à la traction selon une ligne droite.

C'est à l'occasion des cercles en fer dont le marquis de Poleni a entouré le dôme de Saint-Pierre de Rome, qu'il a fait les expériences dont je viens de parler. L'effort qu'auront, dans ma construction, à supporter les bandages en fer n'est pas tout-à-fait identique avec celui des cercles qui entourent ce dôme, mais il y a assez d'analogie pour croire que la résistance de ces bandages doit être effectivement bien plus grande que je l'ai annoncé. Mais il vaut mieux, dans une première construction surtout, avoir un grand excès plutôt que le moindre défaut de résistance. Ces dernières considérations s'appliquent de même aux bandages en fer des voussoirs en bois.

Il faut noter de plus que les expériences du marquis de Poleni ont eu lieu sur des barreaux en fer forgé pliés sous la forme d'un octogone; qu'il s'est aperçu que, lorsque le nombre des côtés du polygone augmente, la résistance augmente aussi,

et qu'elle doit être bien plus grande pour les cercles, considérés comme des polygones d'une infinité de côtés. Cependant il n'a admis pour son opération sur le dôme de Saint-Pierre, que la supposition de la résistance six fois plus grande d'une barre pliée en cercle, que celle d'une barre semblable tirée en ligne droite.

Avant ces expériences, nous connaissions déjà, mais sans qu'on l'eût apprécié d'une manière spéciale, le haut degré de force que possèdent les cercles en fer. En effet, l'on cercle des tonneaux, des foudres pour tenir le vin, de très grandes cuves, avec des lames en fer d'un faible échantillon comparativement à la traction qu'ils auraient à supporter si elle avait lieu en ligne droite. Ces cercles en fer ont à s'opposer non-seulement à la pression du liquide, mais encore à la force de dilatation du bois dans le sens de sa largeur; force si grande dans ce sens, que personne n'ignore qu'avec des fiches en bois de sapin sec, on partage des rochers par le mouillage subséquent de ces fiches qui agissent alors comme des coins infiniment forts.

Nous savions aussi que la plupart des grandes voûtes en plâtre, dont les briques sont posées à plat et sur un seul rang, ne subsistent pour la plupart que par des ceintures en fer très minces, qui ont à supporter une très forte pression pour s'opposer à la poussée du plâtre, laquelle est énorme dans de telles constructions. Nous avons vu enfin des voûtes en pierres, menaçant ruine, maintenues par des bandages en fer, servant de tirans et de ceintures à la fois à ces voûtes.

L'appréciation plus exacte de la résistance des fers disposés en cercles et en arcs de cercle plus ou moins grands, serait très importante pour le progrès des arts; car il y a une infinité de constructions et de machines qui profiteraient beaucoup de cette juste appréciation, à cause de la résistance immense

qu'elles ont souvent à opposer à des forces énormes ou à de hautes pressions. M. de Poleni a ouvert la voie aux expériences de ce genre, qu'on ne saurait trop multiplier, afin de parvenir aux résultats les plus rapprochés de la réalité.

Il me reste à justifier mon assertion sur la bien moins grande quantité de fer qui entre dans ma construction, que celle qui est nécessaire lorsqu'on emploie des voussoirs ordinaires.

A cet effet, je termine ce Supplément en offrant ici le calcul de la quantité de fer qui entrerait dans la construction, selon mon système, d'une arche de 60 mètres d'ouverture, de 10 mètres de largeur et de 5 mètres de flèche (*).

L'arche étant composée de six fermes, le nombre total des voussoirs sera de 120, à raison de 20 par ferme.

Longueur moyenne développée d'un voussoir.			3m 200 mill.
Largeur uniforme des voussoirs			» 160
Épaisseur { vers les naissances . . .	370 mill.	Épaisseur moyenne	» 320
à la clef . . .	270		

La solidité moyenne par voussoir est donc de 0,16384 mètres cubes. C'est, pour la solidité des vingt voussoirs d'une ferme, 3,2768 mètres cubes; et pour celle des six fermes, 19,6608 mètres cubes.

Le poids de cette dernière quantité, à raison de 7800 ki-

(*) La très grande résistance du fer fondu à l'écrasement, qui est de 100 kilogrammes par millimètre superficiel, tandis que celle du bois n'est que de 4 kilogrammes, permet de réduire beaucoup la grandeur des flèches, sauf à renforcer les culées en proportion de la plus grande poussée qui doit résulter du surbaissement des arches. A cet égard, voyez la note 6, sur la Résistance des culées.

logrammes par mètre cube est de	153354 kilog.
Deux cent quarante renforts aux bouts des cent vingt voussoirs (fondus avec eux) ayant tout autour une saillie d'un décimètre, offrent une solidité totale de 3,264 mètres cubes, dont le poids est de.	25459
Deux doubles bandages en fer forgé, à l'intrados et à l'extrados des six fermes, ayant 160 millimètres de largeur, et ensemble 60 millimètres d'épaisseur, sur une longueur totale de 384 mètres, offrent une quantité de 3,6864 mètres cubes, dont le poids est de . .	28754
Les bandages ayant leur passage à travers les renforts, afin qu'ils puissent s'appliquer exactement aux voussoirs, la diminution de matière qui en résulte pour ces renforts peut équivaloir à la valeur des boulons, desquels par conséquent il n'y a pas à tenir compte.	
J'ai calculé que les diagonales, les traverses et autres accessoires en fer pouvaient être ensemble d'une solidité à peu près égale à la moitié de celle des bandages; c'est donc à ajouter un poids de	14377
Quantité de fer imprévue dans cet aperçu sommaire	556
Total des fers fondu et forgé qui entrent dans la composition de l'arche	222500 kilog.

L'arche étant très surbaissée, on peut juger que les tympans auront peu d'étendue en longueur et en hauteur; par conséquent, un petit nombre de piliers, ou bien de moises

pendantes, et quelques contrefiches, suffiront pour l'établissement de la plate-forme du pont, qui, à une petite distance des culées, commencera à s'appuyer directement sur les fermes. On conçoit d'ailleurs que moins les tympans ont d'élévation et de longueur, plus la plate-forme devient solide, et plus la résistance des fermes est grande pour s'opposer aux mouvemens et aux déformations, résultant le plus souvent de la grandeur des tympans et de l'élévation du plancher. On peut encore diminuer et réduire presque à rien les tympans, en établissant la plate-forme en pente légère, à partir du milieu de l'arche jusque vers les culées du pont; ce qui n'est ni d'un mauvais goût ni nuisible au passage, lorsque cette pente n'excède pas 50 millimètres par mètre.

On sent au surplus que le succès de ce dernier système de ponts en fer peut conduire par la suite à écarter les bandages par des cales en fonte, de manière à rendre l'écartement égal à la largeur de ces barres. Voici comment je les disposerais pour une ferme de 60 mètres d'ouverture.

1°. Arc de la base de cette ferme, composé de quatre cours de barres en fer forgé. Ces barres auraient chacune 6 pouces de largeur et 6 lignes d'épaisseur; elles seraient superposées à joint recouvert de milieu en milieu, fortement serrées et arrêtées entre elles.

2°. Cales en fer fondu, de 6 pouces d'équarrissage, distantes entre elles d'un demi-mètre de milieu en milieu, et offrant ainsi des vides du double plus grands que les pleins des cales massives.

3°. Deuxième arc composé comme le premier, et séparé de lui par les premières cales.

4°. Secondes cales de même dimension que les premières, et disposées de la même manière.

5°. Troisième arc composé comme les deux autres, et séparé du second par les deuxièmes cales.

6°. Boulons traversant les arcs et les cales. Indépendamment des boulons qui serrent les arcs avec les cales, des étriers à brides envelopperaient en même temps tout le système d'une ferme vers les cales, et serviraient à l'union plus intime des diagonales et des traverses avec les six fermes.

Ainsi, une ferme aurait 6 pouces de largeur sur 18 pouces d'épaisseur; il n'entrerait donc, dans la composition d'une arche de 60 mètres d'ouverture et de 10 mètres de largeur, que 775 pieds cubes de fer, ou environ 214000 kilog., y compris les traverses, contrevens ou diagonales. Ce pont, pour une grande ville, serait d'un prix fort modéré, puisque pour un pont en trois arches, comme celui de Southwark, il faudrait moins de 913000 kilog. de fer, ou moins de la sixième partie de la quantité qui a été employée à Southwark.

Mais comme, d'une part, pour rendre ce système tout-à-fait plein, et par conséquent bien plus solide encore, il ne s'agirait que de substituer aux cales deux rangs de voussoirs coulés pleins; et comme, d'autre part, le calcul indique que quatre fermes ainsi composées présenteraient alors plus de résistance que les six fermes à jour, ces voussoirs, dans les grandes constructions surtout, devraient être préférés aux cales. Il faudrait, il est vrai, pour les quatre fermes pleines plus de matière en fer fondu que pour les six fermes à jour; mais il faudrait aussi un tiers de moins de fer forgé, et il y aurait toute l'économie de la main-d'œuvre pour la construction de deux fermes. En résultat, la dépense n'en serait guère plus forte.

Cependant l'on conçoit que des fermes à jour, composées de barres en fer forgé, disposées comme on vient de le voir,

seraient très préférables aux voussoirs en châssis de fer fondu, par la bien moins grande quantité de matière et de main-d'œuvre qui entrent dans leur composition, et par leur plus grande résistance à la compression, à la flexion, à la rupture et au brisement. Mais ces divers motifs de préférence étant à plus forte raison applicables aux fermes pleines, on les préférera aussi le plus souvent, je pense, à toute autre disposition, dussent-elles occasioner quelque surcroît de dépense.

NOTES.

NOTE PREMIÈRE.

L'extrait suivant du projet général de cahier des charges, arrêté tout récemment par l'administration des Ponts et Chaussées, indique suffisamment les formalités à remplir pour obtenir des concessions de ponts. C'est un modèle de soumission pour l'exécution d'un pont suspendu; mais ce modèle pouvant servir d'exemple pour toutes les autres constructions, sauf les changemens, suppressions et modifications résultant des divers systèmes, il est utile de le consigner dans cet ouvrage.

Projet général de cahier des charges pour l'exécution d'un pont suspendu.

ARTICLE 1er.

Le soumissionnaire s'engage à exécuter à ses frais, risques et périls, et à terminer pour le (   ) ou plus tôt, si faire se peut, tous les travaux nécessaires à l'établissement et à la confection d'un pont suspendu sur (   ) à (   ), route royale, n° (   ). La largeur du passage sur le pont, entre les faces intérieures des garde-corps, sera de....... ; la longueur du débouché des eaux entre les culées sera de.......... ; la surface inférieure du tablier se trouvera au moins à.......... au-dessus de l'étiage; les rampes des abords n'excéderont pas   centimètres par mètre, et les courbes qui raccorderont l'axe du pont avec les axes des portions de route qui viennent y aboutir auront au moins   mètres de rayon.

Le soumissionnaire s'engage d'ailleurs à n'employer que des matériaux de bonne qualité, et à se conformer à toutes les règles qu'exige une construction solide. Il lui est spécialement interdit de placer des bois dans le corps ou sous la base des massifs de maçonnerie, si ce n'est

10..

au-dessous du niveau de l'étiage, et de manière que ces bois, qu'il ne serait pas possible de visiter, ne soient exposés aux alternations du sec et de l'humide.

Dans aucun cas, il ne pourra se prévaloir du montant de la dépense, à quelque taux qu'elle s'élève, pour réclamer une indemnité quelconque.

ARTICLE II.

Avant de commencer les travaux, et dans le délai de trois mois au plus, à dater de la notification de l'Ordonnance royale qui interviendra pour approuver, s'il y a lieu, l'adjudication, l'adjudicataire sera tenu de communiquer à l'administration le projet du pont et de ses dépendances, tel qu'il se propose de l'exécuter. L'examen dont ce travail deviendra l'objet aura pour but de vérifier : 1° si l'on y a satisfait aux conditions générales énoncées dans l'article précédent; 2° si le projet n'offre pas dans ses formes extérieures quelques dispositions que le bon goût réprouverait, et dont en conséquence il ne serait pas possible de tolérer l'exécution. Le projet sera remis au soumissionnaire, visé par le Directeur général des Ponts et Chaussées, et avec l'indication des modifications dont il aura été jugé susceptible, par suite de la vérification dont il vient d'être parlé.

Dans le cours des travaux, l'adjudicataire aura la faculté de proposer les améliorations et les changemens que l'expérience lui suggérera, mais il ne pourra les opérer que sous l'autorisation préalable du Directeur général des Ponts et Chaussées.

ARTICLE III.

Lorsque les travaux seront achevés, et avant que le public soit mis en jouissance du passage, le pont sera soumis à des épreuves telles qu'il ait à supporter, indépendamment de son propre poids, une charge de 200 kilogrammes par mètre superficiel de plancher. Cette charge restera pendant trois jours entiers sur le pont. L'ingénieur en chef des Ponts et Chaussées dressera procès-verbal de l'opération et de toutes les circonstances qui auront pu se manifester dans les diverses parties

de la construction. Sur le vu du procès-verbal, et dans le cas où ni les fers, ni les bois, ni les maçonneries n'auront éprouvé d'altération préjudiciable à la solidité, le Préfet autorisera l'ouverture du pont et celle de la perception du droit de péage.

ARTICLE IV.

Le pont sera constamment entretenu en bon état dans toutes ses parties. Les frais relatifs à cet objet, comme ceux de construction première, et même, le cas échéant, de reconstruction, demeureront à la charge de l'adjudicataire. L'entretien consistera principalement : 1° à peindre les bois et les fers au moins une fois tous les trois ans; 2° à les renouveler lorsque la commodité ou la sûreté du passage pourront l'exiger; 3° à remplacer les câbles de suspension et de retenue qui seraient rompus ou qui menaceraient de se rompre; 4° à maintenir en bon état les culées, les piliers, et en général toute la maçonnerie, et à en refaire les joints dès qu'ils commenceront à se dégrader.

Tous les ans, il sera fait une visite détaillée du pont et de toutes ses parties. L'épreuve indiquée à l'article 3 pourra être recommencée, si on le juge convenable. Indépendamment de cette visite annuelle, des visites et des expériences pourront avoir lieu sur l'ordre du Préfet, si un évènement imprévu ou une circonstance quelconque faisait naître quelque crainte sur la solidité et la sûreté du passage.

Les frais auxquels donneront lieu les visites et les expériences seront à la charge de l'adjudicataire et acquittés par lui.

L'adjudicataire sera tenu également d'établir à ses frais et sans délai un passage provisoire à l'aide d'un bac ou de bateaux en nombre suffisant, dans tous les cas où la circulation sur le pont serait interdite pour cause de travaux de réparation ou d'entretien.

ARTICLE V.

Toutes les mesures à prendre et tous les frais à faire pour que le service de la navigation ne soit pas interrompu pendant la durée des travaux, et pour qu'il ne soit entravé que le moins possible pendant cette durée, seront entretenus au compte de l'adjudicataire.

ARTICLE VI.

Si, pour l'établissement des rampes aux abords et des courbes de raccordement, il est nécessaire d'acquérir des terrains et bâtimens, le règlement des indemnités aura lieu dans les formes prescrites par la loi du 8 mars 1810, relative aux expropriations pour cause d'utilité publique.

A cet effet, le projet du tracé des rampes aux abords et des courbes de raccordement sera remis au Préfet du département, qui l'adressera au Directeur général des Ponts et Chaussées, avec son avis. Ce projet sera soumis à l'approbation de Sa Majesté par le Ministre Secrétaire d'État de l'Intérieur.

Lorsque le tracé des abords aura ainsi été approuvé, l'adjudicataire fera lever le plan terrier indiqué dans l'art. 5 de la loi du 8 mars 1810; les autres formalités prescrites par les art. 6, 7, 8, 9 et 10 du titre II de la même loi seront également observées.

Si les propriétaires et l'adjudicataire ne s'accordent pas sur le prix des fonds et bâtimens à céder, il y sera pourvu par les Tribunaux. L'expropriation sera poursuivie à la diligence de M. le Préfet, conformément aux titres III et IV de la loi précitée du 8 mars 1810; mais tous les frais de la procédure, ainsi que le montant de toutes les indemnités seront payés des deniers de l'adjudicataire.

ARTICLE VII.

L'adjudicataire sera soumis au contrôle et à la surveillance de l'administration, tant pour l'exécution des ouvrages que pour l'accomplissement des autres clauses énoncées dans le premier cahier des charges.

ARTICLE VIII.

Pour indemniser l'adjudicataire des dépenses qu'il s'engage à faire par les articles précédens, et sous la condition expresse qu'il en remplira toutes les obligations, le Gouvernement lui concède, pour le laps de temps qui sera déterminé par l'adjudication à intervenir, le produit d'un péage, dont la perception sera autorisée, conformément au tarif

ci-annexé, dès qu'il sera possible de livrer le passage du pont au public. Les frais de régie, de perception et d'administration seront à la charge de l'adjudicataire.

A l'expiration de la jouissance concédée, le pont sera remis au Gouvernement, en bon état d'entretien dans toutes ses parties. Les terrains achetés des deniers de l'adjudicataire pour l'établissement des abords resteront la propriété de l'État, sans pouvoir donner lieu à aucune répétition quelconque d'argent de la part dudit adjudicataire.

ARTICLE IX.

Faute par le concessionnaire, après avoir été mis en demeure, d'avoir terminé les travaux à l'époque ci-dessus fixée, et de remplir les diverses obligations qu'il contracte, il sera pourvu à la continuation et à l'achèvement de ces mêmes travaux, par le moyen d'une adjudication nouvelle qu'on ouvrira sur une mise à prix des ouvrages déjà construits, des matériaux approvisionnés, des terrains achetés, et qui sera dévolue à celui des nouveaux soumissionnaires qui offrira la plus forte somme pour ces ouvrages, matériaux et terrains. Les soumissions pourront être inférieures à la mise à prix.

La somme offerte par le nouvel adjudicataire sera remise au concessionnaire évincé, mais le Trésor retiendra le cautionnement à titre de dommages et intérêts.

Si le nouvel adjudicataire s'engage purement et simplement à poursuivre les travaux où les achever à ses frais, risques et périls, sans mettre d'ailleurs aucun prix à tout ce qui aura été fait avant son entrée dans l'entreprise, le concessionnaire déchu se retirera sans pouvoir exercer de prétention quelconque, et, dans ce cas comme dans l'autre, il perdra tout droit sur le cautionnement.

Enfin, si au lieu d'offrir une somme d'argent, l'adjudicataire nouveau réclame le concours de l'État dans les dépenses, le cautionnement sera employé à satisfaire à cette demande jusqu'à concurrence du montant qu'elle comprendra, et la portion qui ne recevra pas d'emploi restera acquise à l'État comme dans les suppositions précédentes, au même titre de dommages et intérêts.

Les stipulations du présent article ne sont pas applicables au cas où la cessation des travaux et les retards apportés à leur exécution proviendraient de force majeure.

ARTICLE X.

Pour être admis à soumissionner, les concurrens devront, au préalable, avoir versé dans la caisse du receveur général du département une somme de en numéraire, ou en inscriptions de rente calculée au pair, en annuités, bons royaux ou autres effets du Trésor. Ce dépôt, qui deviendra le cautionnement de l'entreprise, ne sera rendu qu'après la réception définitive des travaux.

ARTICLE XI.

Les contestations qui pourraient s'élever entre l'administration et le concessionnaire sur l'exécution ou l'interprétation des clauses et conditions du présent cahier de charges, seront jugées administrativement par le Conseil de préfecture du département, sauf le recours au Conseil d'État.

ARTICLE XII.

L'adjudication ne sera valable et définitive qu'après avoir été homologuée par une Ordonnance royale.

Paris, le

NOTE II.

Je n'avais donné autant d'extension au mémoire produit à l'appui de ma demande d'un brevet d'invention « que pour mieux fixer l'attention » des savans distingués qui composent la Commission d'examen, et » provoquer ainsi de leur part l'examen le plus approfondi de mon » système. » Je fis plus : par ma lettre d'envoi à monsieur le Ministre de l'Intérieur, je priai Son Excellence de vouloir bien recommander qu'il en fût fait un examen rigoureux. Depuis j'ai sollicité la même faveur auprès de ceux de mes camarades des plus capables d'en juger, que j'ai pu voir à Paris. J'ai demandé instamment à M. le comte Becquey, Directeur général des Ponts et Chaussées, et obtenu de lui, de la manière la plus gracieuse, que mon mémoire et mes plans fussent examinés au Conseil général de son Administration, dont les lumières et l'expérience ne pouvaient que m'éclairer dans la voie que j'allais suivre. Enfin, le Comité de l'Artillerie est aussi en possession de mes plans et mémoires, que j'ai soumis pareillement au jugement d'autres Savans expérimentés.

Je n'ai donc rien négligé pour faire examiner mon système de ponts. Si je n'ai pu réunir jusqu'ici tous les avis, et que de fort importans à mes yeux manquent encore, je puis dire du moins que ceux qui me sont parvenus ne m'ont donné que des encouragemens. Je suis encore à attendre les autres, que le respect ne me permet pas de presser; et je regrette que le temps, qui me presse moi-même beaucoup, car il y a déjà plusieurs mois que je séjourne dans la Capitale, ne me permette pas d'ajourner davantage la publication de cet écrit; mais si les avis que j'attends me parviennent plus tard, je les recevrai avec la même reconnaissance, et je les apprécierai beaucoup.

Depuis l'achèvement de cet écrit, l'Ordonnance royale qui confirme mon Brevet d'invention m'est parvenue.

En voici la teneur.

MINISTÈRE DE L'INTÉRIEUR.

EXTRAIT.

CHARLES, par la grâce de Dieu, roi de France et de Navarre, à tous ceux qui ces présentes lettres verront, salut.

Sur le rapport de notre Ministre Secrétaire d'État au département de l'Intérieur ;

Vu l'article 6 du titre Ier, et les articles 6, 7 et 15 du titre II de la loi du 25 mai 1791 ;

Vu l'article 1er de l'Arrêté du 5 vendémiaire an 9 (27 septembre 1800), portant que les brevets d'invention, de perfectionnement et d'importation seront proclamés tous les trois mois par la voie du Bulletin des Lois,

Nous avons ordonné et ordonnons ce qui suit :

ARTICLE 1er. Les personnes ci-après dénommées sont brevetées définitivement; . . . . le sieur vicomte de Barrès du Molard (Jean-Scipion-Fleury) chef de bataillon d'artillerie, demeurant à Valence (*), département de la Drôme, auquel il a été délivré, le 25 août dernier, le certificat de sa demande d'un brevet d'invention de 5 ans pour un nouveau système de ponts à grandes portées.

ART. 2. Les cessions des brevets ci-dessus rappelés ayant été revêtues de toutes les formalités prescrites par l'article 15 du titre II de la loi du 25 mai 1791, sont déclarées régulières, et devront sortir leur plein et entier effet, savoir......

ART. 3. Il sera adressé à chacun des brevetés et des concessionnaires ci-dessus dénommés, une expédition de l'article qui le concerne.

(*) Qu'il me soit permis de revendiquer ici mon pays. Des fonctions civiles et militaires m'ont, il est vrai, procuré un long et agréable séjour à Valence ; mais je suis originaire de l'ancien Vivarais, et mon domicile réel est à Chomerac, département de l'Ardèche.

Art. 4. Notre Ministre Secrétaire d'État au département de l'Intérieur est chargé de l'exécution de la présente Ordonnance, qui sera insérée au Bulletin des Lois.

Donné en notre château des Tuileries, le 8 octobre, l'an de grâce 1826, et de notre règne le troisième.

Signé CHARLES.

Par le Roi.

Le Ministre Secrétaire d'État au département de l'Intérieur,

Signé Corbière.

Pour extrait conforme, le Conseiller d'État Secrétaire général,

Signé baron Capelle.

NOTE III.

En France, nous ne possédons encore qu'un très petit nombre de ponts suspendus. Il est fâcheux que l'édifice de ce genre élevé par M. Navier à Paris, vis-à-vis les Invalides, ait cédé par les points d'attache et par la faiblesse des colonnes qui en supportent les chaînes peut-être trop massives. Mais raisonnablement à qui pouvait-on mieux en confier l'exécution qu'au savant Ingénieur qui avait si bien traité cette matière dans l'ouvrage important qu'il a publié sur les ponts suspendus? Il en a décrit de ce genre, exécutés avec succès en Angleterre et ailleurs sur une longueur bien plus grande que celle du pont des Invalides : le système n'a donc pas tort.

D'ailleurs, M. Séguin a exécuté sur le Rhône, entre Tain et Tournon, et avec un plein succès, un pont suspendu d'après les plans et mémoires de M. Bruno Plagnol, Ingénieur des Ponts et Chaussées de l'arrondissement de Tournon, qui, en France, a eu le mérite d'avoir donné la première idée et le premier projet d'un pont suspendu à des câbles en fil de fer.

Ces câbles sont préférables à des chaînes en fer, puisqu'à grosseur égale, la ténacité du fil de fer est à peu près le double plus forte que celle du fer. M. Séguin, après avoir profondément médité sur ce genre de construction, a fait précéder celle du pont de Tournon d'un très grand nombre d'expériences sur la ténacité des fils de fer et sur celle des fers de différens échantillons. En sorte que l'ouvrage qu'il a publié sous le titre de *Ponts en fil de fer* se recommande comme étant le résultat des grandes connaissances et de l'expérience de l'auteur.

Il est sans doute à regretter que le pont de M. Séguin n'ait pas une largeur suffisante pour le passage de deux voitures; mais il a eu l'attention d'en ménager assez au milieu du pont, vers la pile qui sépare les deux travées, pour que deux voitures puissent s'y croiser.

Le principal défaut de ce pont est, à mon avis, le peu d'élévation du

tablier au-dessus des plus hautes eaux du fleuve. Effectivement, si, lorsque les eaux du Rhône, qui est très rapide, se trouvant à leur plus grande hauteur, et par conséquent à leur plus grande vitesse, venaient à entraîner, comme cela arrive souvent, des corps flottans d'un gros volume, tels que des barques ou moulins sur bateaux, il serait à craindre qu'il n'en survînt quelque grave accident par le choc de ces corps contre le tablier du pont. Mais la hauteur de ce tablier était indiquée par celle des chaussées ; et M. Séguin n'a pas manqué de l'élever aussi haut qu'il a pu le faire, et même au-dessus de la limite fixée par l'Autorité. Toutefois ce défaut subsiste.

Je ne terminerai pas cette note sans rappeler que depuis des siècles, et par conséquent long-temps avant la connaissance en Europe des ponts suspendus à des chaînes en fer ou à des câbles en fil de fer, l'Artillerie était en possession du moyen de procurer à la guerre de longs et hardis passages sur les rivières, par des ponts de cordages en chanvre. Ces ponts, qui ont la solidité nécessaire du moment, sont, il est vrai, peu susceptibles d'avoir une longue durée, et sont sujets à éprouver des différences considérables de tension, selon les variations de températures sèches ou humides, mais ils n'en méritaient pas moins d'être mentionnés; et l'on peut voir à cet égard, parmi les divers ouvrages qui en traitent, *l'Aide-Mémoire à l'usage de MM. les officiers au Corps royal de l'Artillerie*, par M. le comte de Gassendy, Lieutenant-Général de l'arme, Pair de France.

NOTE IV.

Système composé de pièces de fer parfaitement liées, mais présentant des vides entre elles.

« Lorsque deux pièces rectangulaires de dimensions égales sont liées » entre elles de manière à être séparées par un intervalle, et que la liai- » son est parfaite, c'est-à-dire que les pièces ne peuvent s'écarter ni » glisser l'une par rapport à l'autre, *la résistance du système dans le » plan qui coupe les deux pièces est à celle du système supposé » plein, comme $E^3 - e^3$ est à E^3, E étant l'épaisseur totale et e celle » du vide.* » (Duleau, loi XVI.)

« Nommant 1 la somme des épaisseurs des deux pièces, et v leur » écartement, la résistance de ce système sera $1 + 3(v + v^2)$, si l'on » prend pour unité la résistance de la pièce non partagée. » (Duleau, sur la loi XVI.)

Cette loi et la formule qui en dérive me paraissent contenir une erreur manifeste; car quel autre effet les boulons et les croix de Saint-André, qui lient plus ou moins parfaitement en système les deux barres, peuvent-ils procurer, que de transmettre en grande partie la pression dans le sens longitudinal de ces barres? effet qui explique comment les flèches deviennent d'autant plus petites, que le système est mieux lié. Mais il est difficile surtout de concevoir que le maximum de résistance du système, quelque parfaitement exécuté qu'on le suppose, puisse jamais dépasser la somme des résistances à la traction et à la compression des deux barres mises en expériences. Liez en système deux barres très minces aussi bien qu'il est possible de l'imaginer : comment concevoir que ce système résisterait à une charge, mise sur son milieu, infiniment plus grande que la résistance absolue à la compression et à la traction des deux barres dans le sens de leur longueur? C'est cependant à un pareil résultat que conduit la formule $1 + 3(v + v^2)$, si l'on suppose, dans le système, l'écartement des deux barres assez considérable. Il y a dans

l'application des formules un juste milieu que l'on ne saurait franchir impunément; et je suis loin de soustraire à cette observation la formule que je me propose de substituer à celle-ci, quoiqu'elle conduise bien moins promptement à un résultat aussi exagéré; mais on sait assez qu'il faut en tout de justes proportions, et qu'en se tenant, pour les constructions, dans les limites ordinaires, la théorie est bien moins en défaut.

D'autre part, je vais soumettre à une autre épreuve cette formule $1 + 3 (v + v^2)$, et montrer qu'elle conduit à trouver à un système composé de deux barres de fer très minces, liées entre elles par des boulons ou par des croix de Saint-André, une résistance presque aussi grande que celle d'un solide plein de mêmes longueur, largeur et épaisseur que ce système : résultat nécessairement fautif.

Ainsi, par exemple, soient deux barres de fer dont les épaisseurs réunies seraient de 20 millimètres, et qui auraient chacune une résistance représentée par l'unité; si l'on disposait ces barres en système, dans lequel leur écartement serait de 980 millimètres, on aurait, selon la formule ci-dessus, pour la résistance du système $1 + 3 (49 + 2401) = 7351$, et ce système aurait par conséquent 7351 fois la résistance d'une des deux barres !

Mais, d'après les principes reçus et bien démontrés, on sait que les pièces rectangulaires de fer de même longueur et de même largeur résistent dans le rapport des carrés de leur épaisseur respective. Ainsi une bande massive de 1000 millimètres d'épaisseur, qui est celle du système que nous considérons, n'ayant qu'une résistance 10000 fois plus grande que celle d'une des deux bandes mises en expérience, le système présentant un aussi grand vide résisterait, d'après la formule ci-dessus, dans le rapport de 7351 à 10000 ; ce qu'il est difficile d'admettre, et nous montre même que l'application de la formule donne des résultats qui outrepassent évidemment les bornes de la possibilité.

Il est aisé, au surplus, de s'assurer par le calcul que l'expression $:: E^3 - e^3 : E^3$ doit être changée en celle-ci $:: E^2 - e^2 : E^2$, et que par conséquent $1 + 3 (v + v^2)$ doit devenir $2 + 4v$, en prenant pour unités la somme des épaisseurs des deux barres et la somme de leurs résistances, et en considérant, selon les principes reçus, cette dernière somme comme étant la moitié de la résistance d'une barre d'un seul

morceau et de mêmes dimensions que les deux premières réunies (*). Il vient alors 198 (au lieu de $\frac{7351}{2}$ ou $3675\frac{1}{2}$) pour l'expression de la résistance du système, celle des deux barres étant représentée par l'unité. Et si ce système était remplacé par une bande massive d'égales dimensions que lui, la résistance de cette bande serait, d'après ce qui précède, représentée par $\frac{10000}{2} = 5000$ fois la résistance des deux barres mises en expérience dans le système dont il s'agit. Ces résultats concordent avec les principes et avec les expériences connues, sauf les diminutions de résistance qui ont lieu nécessairement dans la pratique par la difficulté d'assujettir si parfaitement un tel système, que les pièces ne puissent aucunement s'écarter ni glisser l'une par rapport à l'autre. Je vais au surplus montrer que la formule $2 + 4\nu$ rend assez bien raison des expériences de M. Duleau lui-même ; expériences précieuses dans l'état de nos connaissances sur la résistance des fers, et qui présentent de nombreux résultats, par des essais faits sur la plus grande échelle que l'on ait employée jusqu'à présent. Ces résultats pouvant concourir au perfectionnement de la théorie, je vais d'abord présenter ici le tableau des expériences que M. Duleau a faites sur des barres de fer liées en système.

Expériences sur des pièces en fer forgé, droites, liées ensemble de manière à laisser entre elles un intervalle, et chargées perpendiculairement à leur longueur.

« Les deux pièces des sept expériences suivantes avaient chacune » $4^m,03$ de longueur, $0^m,06$ de largeur, et $0^m,01055$ d'épaisseur; elles » étaient percées de 11 trous de $0^m,02$ de diamètre, destinés à » laisser passer les boulons qui devaient serrer ces deux pièces. Elles » pouvaient être placées immédiatement l'une contre l'autre ou à une » distance de $0^m,01$, $0^m,02$, $0^m,03$, au moyen de cales de $0^m,01$, $0^m,02$

(*) Si, pour simplifier, on prenait pour unités l'épaisseur et la résistance de l'une des deux barres, on aurait $4(\nu + 1)$ pour la résistance du système : expression fort simple, et qui satisfait aussi à tous les cas.

» et $0^m,03$ traversées par les boulons et mises successivement ou en-
» semble.

» Les trois premières expériences n'ont été faites que pour avoir la » force de l'une des deux pièces isolément.

» Pour les pièces boulonnées ensemble, on a eu soin, outre les pré- » cautions décrites en tête des expériences sur les pièces isolées, de serrer » le plus possible les écrous des boulons, et de charger avant l'expé- » rience tout le système d'un poids supérieur à ceux pour lesquels on a » observé les flèches. Le but était de faire porter les boulons contre les » bords des trous, afin que les pièces ne pussent pas glisser l'une sur » l'autre. On a ensuite mis, ôté et remis plusieurs fois de suite les poids » d'expérience, pour qu'on fût certain que les flèches produites par ces » poids étaient dues uniquement à la compression ou à la tension des » fibres, et non au glissement des pièces l'une sur l'autre.

» Pour l'expérience (n° 80), on s'est servi des mêmes pièces, qu'on » a portées à $6^m,03$ de longueur, et qu'on a espacées de $0^m,153$, au » moyen de 15 croix de Saint-André dont les extrémités étaient bou- » lonnées contre les pièces vis-à-vis les trous déjà percés, et espacés » de $0^m,40$. » (Pl. 3, fig 7 et 8) (*)

(*) L'ouvrage de M. Duleau contient beaucoup d'autres expériences fort intéressantes sur la résistance du fer forgé chargé de toutes les manières. J'ai rapporté celles qui ont le rapport le plus direct avec mon sujet, parce que l'édition de l'ouvrage de cet Ingénieur étant épuisée, on pourrait quelquefois n'être pas à portée de le consulter ; et alors il serait difficile de me suivre dans cette discussion.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	NUMÉROS des Expériences.	INDICATION DES PIÈCES ou SYSTÈMES DES PIÈCES mis en expérience.	LONGUEUR des Pièces.	DISTANCE entre les Appuis.	DIMENSION posée: Horizontalement.	DIMENSION posée: Verticalement.	FLÈCHE sous 10 kilog., d'après: Le calcul.	FLÈCHE sous 10 kilog., d'après: L'expérience.	POIDS le plus fort dont LA PIÈCE a été chargée.
					mm.	mm.	mm.	mm.	kilog.
	71	Fer du Périgord. Une seule des pièces ci-dessus décrites...............	4^m03	4,00	60	10,55	113,55	»	»
		Flèche due au seul poids de la pièce, d'après le calcul et l'expérience.........	....	....	......	......	(139,95)	(136)	»
	72	Mêmes pièces.	»	2,00	60	10,55	14,19	14	25
Voyez plus bas l'observation.	73	Les deux pièces semblables à la précédente, posées de champ, l'une à côté de l'autre, sans être boulonnées.	4,03	4,00	21,1	60	1,70	1,6	200
	74	Les mêmes, boulonnées.	4,03	4,00	21,1	60	1,70	1,6	200
	75	Les mêmes, posées à plat et superposées sans boulons.	4,03	2,00	60	21,1	7,10	7	40
	76	Les mêmes, posées à plat, mais boulonnées ensemble.	4,03	4,00	60	22	12,52	11,5	45
	77	Les mêmes, écartées de 0^m,011, au moyen des cales serrées par les boulons.	4,03	4,00	60	Épaiss. totale, 32; vide, 11.	4,24	4,57	70
Fig. 7.	78	Les mêmes, écartées de 0^m,021, par le même moyen.	4,03	4,00	60	Épaiss. totale, 42; vide, 21	2,06	2,6	150
Voyez plus bas l'observation.	79	Les mêmes, écartées de 0^m,032, par le même moyen.	4,03	4,00	60	Épaiss. totale, 53; vide, 32	1,15	1,8	200
Fig. 8.	80	Les mêmes, écartées de 0^m,153, au moyen des croix de St.-André.	6,03	5,80	60	Épaiss. totale, 174; vide, 153	0,241	0,275	400
	81	Fer du Périgord. Deux pièces de 0^m,0195 d'épaisseur, 0,06 de largeur, et 4,03 de longueur, serrant l'un contre l'autre par 11 boulons.	4,03	4,00	60	40	2,08	2,2	100

Observations sur les expériences 73 et 74.

« Les pièces ont vis-à-vis les trous des boulons une largeur plus » considérable que dans les intervalles, ce qui augmente leur résistance » lorsqu'elles sont posées de champ. »

Sur les six dernières expériences.

« Plus la distance des pièces liées par des boulons augmente, plus la » résistance du système qu'elles forment diffère de celle annoncée par » la théorie. Les boulons sollicités par les pièces qui tendent à glisser » l'une sur l'autre deviennent, en vertu de leur élasticité, obliques sur » leurs têtes, en prenant une inflexion qui augmente avec le poids dont » on charge le système. Cette inflexion est d'autant plus grande que » les pièces sont plus écartées. Cet effet n'a plus lieu d'une manière » sensible, lorsque les deux pièces sont liées par des croix de Saint- » André. »

Présentement, si l'on veut éprouver la formule que j'ai donnée, il faut, dans l'expérience 80, par exemple, considérer que l'écartement des deux barres est 7,25 fois plus grand que leurs épaisseurs réunies; ainsi $v = 7{,}25$ et $2 + 4v$ devient $2 + 29 = 31$. Le système doit donc avoir 31 fois la résistance des deux barres ensemble. Or, par l'expérience n° 75, leur résistance pour une longueur de 2 mètres, ayant été trouvée de 40 kilogr., c'est pour une longueur de 5,80 mètres, qui est celle du système n° 80, une résistance de 13,80 kilogr., lesquels multipliés par 31 donnent 427,80 kilogr., pour la résistance du système : résultat qui ne diffère que du 15me au 16me en plus des 400 kilogrammes trouvés par l'expérience. Cette différence peut provenir d'une légère imperfection de l'assemblage par des croix de Saint-André, qui est pourtant la meilleure manière pratiquée jusqu'à présent d'assujettir de pareils systèmes. On sent au surplus qu'il n'est guère possible que l'expérience se rapproche davantage de la théorie, à cause des élémens inappréciables qui s'introduisent à notre insu dans la pratique, et qui, les soupçonnerions-nous, seraient d'ailleurs d'une considération trop minime, et même trop hypothétique, pour entrer dans le calcul.

En continuant cette comparaison avec le même n° 75 on trouve que le résultat donné par l'expérience n° 79 diffère d'un cinquième avec celui que donne ma formule; mais si cette comparaison du n° 79 était faite avec le n° 72, les résultats théorique et pratique seraient tout-à-fait identiques.

Il en est de même à l'égard du n° 78, dont les résultats théorique et pratique, par comparaison avec le n° 75, diffèrent d'un cinquième, tandis qu'ils sont tout-à-fait identiques avec le n° 72.

Enfin, pour dernier exemple, car M. Duleau n'en offre aucun autre de ce genre, la comparaison du n° 77 avec le n° 75 ne présente qu'une différence d'un huitième entre la théorie et l'expérience.

Il faut cependant remarquer que, dans ces trois dernières expériences, les barres n'avaient pas assez d'écartement entre elles pour que quelque cause inconnue n'ait pu contribuer à augmenter les différences que je viens de signaler. Du reste, ces expériences confirment la formule que j'ai donnée, et réciproquement. M. Duleau a donc fait de bonnes et belles expériences; mais, si je ne me trompe, il en a déduit quelquefois une théorie erronée.

Mais, pour compléter cet examen théorique, j'ai encore à considérer la question suivante, dont les résultats vont, je pense, confirmer tout-à-fait ce qui précède.

LOI XVII.

« La résistance d'un tuyau creux, rond ou quarré, est au même » tuyau plein, comme $D^4 - d^4$ est à D^4, D et d étant les diamètres ou » les côtés extérieur et intérieur du tuyau. » (Duleau.)

SUR LA LOI XVII.

« On n'a essayé aucun tuyau rond ni carré; mais d'après l'accord » de la théorie avec l'expérience pour le système de deux pièces liées » avec des croix de Saint-André, il est hors de doute que des tuyaux, » entre les parties desquels la liaison existe sans aucun assemblage, » n'eussent complètement justifié la théorie.

» On tire de cette loi la conséquence que, si la résistance d'un cy-

» lindre plein est représentée par 1, celle d'un tuyau creux de même » section sera $1 + \frac{2d^2}{(D^2 - d^2)}$, D et d étant les diamètres extérieur et » intérieur de ce tuyau. » (Duleau.)

Faisons l'application de cette formule à un tuyau carré de 5 pouces de côté extérieurement, et dont le vide intérieur et de même forme serait de trois pouces de côté. Ce tuyau aurait par conséquent un pouce d'épaisseur.

Nommons 1 la résistance d'un prisme carré plein, de même longueur que le tuyau que nous considérons, et de même poids ou solidité que lui; il est évident que ce prisme aurait 4 pouces de côté, dont le carré 16 est le même que $D^2 - d^2$. La formule ci-dessus produisant alors $1 + \frac{18}{16} = 2\frac{1}{8}$, il en résulterait que le tuyau aurait deux fois et un huitième la résistance de ce prisme plein de 4 pouces de côté ou de 16 pouces de section.

Substituons présentement à ce tuyau carré de 5 pouces de côté, un prisme plein de même forme et de même dimension, et voyons quelle serait la résistance de ce dernier relativement à celle du prisme plein de 4 pouces de côté, que nous venons de comparer avec le tuyau creux.

Comme les solides d'égale longueur résistent dans le rapport de leur largeur et du carré de leur épaisseur, ou dans le rapport du cube de l'une ou de l'autre de ces dimensions, si la largeur est égale à l'épaisseur, comme dans le cas présent, il est évident que le prisme plein de 5 pouces de côté, résistera, relativement au prisme de 4 pouces, dans le rapport de 5^3 à 4^3, ou de 125 à 64.

Mais nous avons vu que la formule $1 + \frac{2d^2}{D^2 - d^2}$ attribue au tuyau creux une résistance deux fois et un huitième celle du prisme plein de 4 pouces de côté; d'où il résulterait, dans cet exemple, qu'un prisme plein aurait moins de résistance qu'un prisme creux dont les dimensions extérieures seraient les mêmes : résultat nécessairement fautif, qui montre ainsi un grand vice dans la formule.

Cette fois elle a donné un résultat exagéré pour la résistance d'un prisme creux; dans d'autres exemples, cette formule produit des appréciations entièrement opposées, comme l'on peut s'en convaincre par d'autres applications qu'il serait trop long de faire ici.

Après avoir signalé le vice de la formule $1 + \frac{2d^2}{D^2 - d^2}$, cherchons à lui en substituer une autre qui puisse mieux satisfaire à tous les cas.

1°. Soient deux barres, chacune d'un pouce d'épaisseur et de 5 pouces de largeur, liées en système (LOI XVI), et dont l'écartement serait de 3 pouces. La formule $2 + 4v$, substituée à celle de M. Duleau, donnerait $2 + 6 = 8$ pour la résistance du système, c'est-à-dire que cette résistance serait huit fois plus grande que celle des deux barres, ou seize fois plus grande que la résistance de l'une d'elles.

2°. Ces barres ayant 5 pouces de largeur, en prenant pour unité de résistance celle d'un prisme plein d'un pouce carré, la résistance du système sera donc 80, relativement à celle de ce prisme d'un pouce.

3°. Ajoutons latéralement de chaque côté, à ce système, 2 barres d'un pouce de largeur et de 3 pouces d'épaisseur, en sorte que le système devienne un tuyau creux de 5 pouces de côté extérieurement et de 3 pouces intérieurement, ce qui reproduit le tuyau considéré en premier lieu. Il en résultera un accroissement de résistance égal à celle de ces deux barres, ou égal à deux fois la largeur de l'une d'elles, multipliée par le carré de son épaisseur, produisant 18. La résistance totale de ce tuyau serait donc 98.

Mais la résistance du prisme plein de 5 pouces de côté étant 5^3 ou 125, et celle du vide étant 3^3 ou 27, on arrive donc à avoir $5^3 - 3^3 = 98$, ce qui montre que $D^3 - d^3$ est l'expression de la résistance d'un tuyau carré, dont D et d sont les côtés extérieur et intérieur : expression qui s'applique également aux cylindres creux, dont D et d seraient les diamètres extérieur et intérieur.

Voyons d'ailleurs si en considérant la question sous un autre point de vue, nous retrouverons $D^3 - d^3$ pour la résistance du tuyau.

Considérons donc ce tuyau comme étant composé de quatre barres encastrées mutuellement sur leur largeur, et solidement fixées entre elles. Il est évident qu'elles peuvent alors être regardées comme ayant chacune un équarrissage moyen d'un pouce sur 4, et que la résistance totale sera égale, vu que les pièces ne peuvent plier isolément, mais seulement toutes ensemble, à 1°. la résistance des deux barres inférieure et supérieure ramenées à une épaisseur moyenne de 2 pouces. La manière dont elles résistent dans ce système leur procure deux fois l'unité

de résistance, plus le carré de leur épaisseur multipliée par leur largeur et par l'épaisseur réduite du système, c'est-à-dire . . . . $2 + (2^2 \times 4 \times 4) = 66$; 2°. à la résistance des deux barres latérales posées de champ, c'est-à-dire à $4 \times 4 \times 2 = 32$. La résistance totale du système, comme dans l'exemple précédent, est donc 98 : ce qui confirme, d'après les principes reçus, que $D^3 - d^3$ est encore la résistance du tuyau.

J'ai donné exprès des exemples numériques, afin que les constructeurs les moins au courant des formules algébriques puissent apprécier ce qui précède par de simples applications analogues. Cependant, quelque vraisemblance que paraissent avoir les résultats que je viens de donner, et par conséquent les formules qui y conduisent, je suis loin d'affirmer que l'expérience répondit entièrement à la théorie, et je pense au contraire qu'avant de fonder positivement aucune théorie, il faudrait faire ou connaître un très grand nombre d'expériences, sans lesquelles (à propos de tuyaux et cylindres creux) nos théories pourraient bien être aussi des *rêves creux*.

Toutefois quelques erreurs analogues à celles que j'ai cru apercevoir, et que je viens de signaler, se sont propagées, il me semble, pour d'autres lois et leurs applications, dans l'ouvrage d'ailleurs si recommandable de M. Duleau. Il m'importait, relativement à mon système de ponts, de reconnaître particulièrement celles-ci; et si j'en fais mention dans cet Écrit, c'est uniquement, et sans y ajouter aucun mérite, afin d'en avertir des constructeurs trop préoccupés d'ailleurs pour y porter leur attention, en faisant l'application de ces formules, qui les conduiraient cependant fort loin du véritable but.

J'aurais donc quelques autres observations à faire sur les expériences de M. Duleau, mais les bornes de cet Écrit m'obligent de les resserrer dans un cadre fort étroit. Je ne puis cependant passer sous silence celle-ci. Cet auteur dit, page 55, que « le fer peut, sans rien perdre de son » élasticité, s'étendre et se comprimer de trois dix-millièmes de sa » longueur primitive, et qu'une barre de fer forgé, tirée ou pressée, » ne perd pas son élasticité tant que le poids qui agit sur elle n'excède » pas 6 kilog. par millimètre carré de section. » Ce double principe me paraît offrir une limite trop étroite.

On sait effectivement, par de nombreuses expériences et par la pratique dans de grandes constructions, que le fer peut être soumis, sans que sa ténacité en soit altérée, à une traction de 12 à 15 kilogrammes par millimètre carré de section, suivant les différentes qualités de fer, et M. le baron Charles Dupin, qui par des motifs appréciables sans doute, n'a point jugé à propos de contredire ouvertement le principe de M. Duleau, s'est borné à lui donner à peu près toute l'extension que comporte la pratique, à la page 285, tome I, *Force commerciale*, où il dit : « D'après les expériences de M. Duleau, on peut faire éprouver » aux fers un allongement de 0,00065 par mètre, sans altérer leur » adhésion moléculaire; allongement qui correspond à 10 ou 13 kilog. » de charge. Telle est la limite qu'il ne serait pas prudent de dépasser » dans les tensions les plus fortes auxquelles doivent être soumis les » élémens des ponts suspendus. »

Il est vrai que M. Duleau avait noté que certaines pièces « ont » perdu leur élasticité par un allongement de fibre égal à 0,00045 en- » viron de leur longueur primitive, tandis que cet allongement a été » jusqu'à 0,0009 et 0,0012 pour d'autres pièces dont l'élasticité n'était » pas encore altérée. » Mais cet auteur n'en a pas moins persisté à dire » que le fer est exposé à perdre son élasticité lorsque les fibres sont » allongées de 0,0003 de leur longueur primitive (*). » Il en conclut, page 79, « que le plus grand poids dont une pièce de longueur 2L, de » largeur l, et d'épaisseur e (exprimées en millimètres), puisse être » chargée sur son milieu sans perdre son élasticité, $=\frac{2le^2}{L}$. »

(*) On peut juger qu'un pareil allongement pourrait être produit par la seule augmentation de 25 degrés centigrades de chaleur (20 degrés de Réaumur), variation qui n'est pas la moitié de la différence entre le plus grand froid et la plus grande chaleur dans nos climats tempérés. Ainsi l'on conçoit de prime abord combien cette évaluation est faible, même en présumant que le fer n'est pas tiré également partout sur toute la longueur d'une barre, mais qu'il l'est proportionnellement davantage vers le point de rupture, qui est toujours celui où la barre, par quelque défaut inaperçu, a le moins de résistance. Quelle est d'ailleurs positivement cette *longueur primitive*, puisque, pendant le temps de l'expérience, une augmentation très ordinaire de chaleur peut seule occasioner, en totalité ou en

Remarquons que l'on ne saurait attribuer d'aussi grandes variations dans la force d'élasticité des fers soumis aux expériences dont il s'agit, à la seule différence de leurs qualités; il faut plutôt en accuser la difficulté de déterminer exactement les flèches. Les expériences ont eu lieu en général sur des fers extrêmement minces relativement à leur longueur, par conséquent très flexibles, et déjà même sous la charge de leur propre poids; on conçoit donc que la détermination des flèches n'a pu être rigoureusement exacte. Enfin, par le calcul fondé sur l'observation des flèches, on procède du petit au grand; et dès lors les erreurs, au lieu de se diviser, comme lorsqu'on procède du grand au petit, se trouvent multipliées par les formules qu'on en tire.

Ici les résultats sont inférieurs à la véritable résistance du fer, tandis que dans l'exemple relatif au système de deux barres réunies par des croix de Saint-André, ou simplement par des boulons, il y a, comme on l'a vu, grand excès dans l'évaluation du degré de résistance de ce système par la formule $1 + 3(v + v^2)$ (*).

Ainsi il vaut bien mieux procéder du grand au petit, comme nos devanciers et nos maîtres dans ces sortes d'expériences l'avaient pratiqué jusqu'ici, et à cet effet, commencer par reconnaître, tant pour les

---

grande partie, cet allongement de 0,0008 des barres de fer? De plus, est-il bien certain que les flèches sont *exactement* en raison des poids? Je croirais plutôt qu'il en est des flèches comme de la dilatation des corps, qui ne suit pas une marche uniforme; car on sait, d'après les expériences de MM. Dulong et Petit, qu'elle croît avec la température, et que la variation est plus forte pour chaque degré entre 200 et 300 degrés qu'entre 100 et 200 degrés, plus forte entre ces deux derniers temps qu'entre 0 degré et 100 degrés, etc.

Au surplus, les observations que je viens de faire sur ce double principe de M. Duleau se trouvent confirmées au point de ne laisser aucun doute, par les belles et nombreuses expériences de M. Séguin, sur l'allongement dont les fers et les fils de fer sont susceptibles sous différentes charges.

(*) D'ailleurs cette formule ne rend pas raison de la loi $:: E^3 - e^3 : E^3$. Il en est de même de $1 + \frac{2d^2}{D^2 + d^2}$ à l'égard de la loi $:: D^4 - d^4 : D^4$; car ces formules, ainsi qu'il est facile de s'en assurer, donnent presque toujours des résultats très différens de ceux que l'on obtient par l'application immédiate de ces lois.

fers que pour les bois, quelle est la charge qui occasione leur rupture, selon leurs différentes dimensions, et déterminer ensuite dans quelle proportion on peut les charger dans les constructions pratiques. Par là les formules sont plus simples, et en même temps moins sujettes à de grandes erreurs.

Je ne suis pas au surplus le premier à faire cette dernière observation ; M. Navier avait déjà dit, dans ses notes sur le fer fondu et sur le fer forgé (Gauthey, tome II, pages 142 et suivantes) : « On a fait quelques » expériences sur la fonte chargée horizontalement ; mais comme une » très légère flexion suffit pour en causer la rupture, on n'a point » cherché à comparer les flèches aux charges, et il eût été presque im- » possible de le faire avec quelque exactitude. . . . .
» Il serait bien dangereux de se fier, dans les applications, à des résul- » tats conclus d'expériences faites en petit ; » et l'auteur cite à ce sujet des exemples très remarquables, dans lesquels les résultats ont varié jusque dans la proportion de 1 à 4 . . . . Cet auteur dit plus loin : « C'est donc surtout la résistance à la rupture qu'il faut » considérer dans le fer pour avoir la limite des poids dont il peut » être chargé ; d'où il suit que la recherche de la valeur numérique du » moment d'élasticité du fer forgé n'est guère qu'un objet de curiosité, » et offre peu d'intérêt pour les applications. »

Cette observation sur la difficulté de mesurer exactement les flèches des barreaux mis en expérience me confirme dans la persuasion que les formules tirées de l'observation des flèches sont généralement affectées d'erreurs plus ou moins considérables.

NOTE V.

Sur la résistance des culées.

J'ai fait passer cet article dans les Notes, parce qu'il est hors de mon invention, et que des auteurs du plus grand mérite l'ont déjà traité d'une manière plus ou moins satisfaisante; car c'est encore un sujet, ainsi que celui de l'équilibre des voûtes, qui contient assez d'élémens hypothétiques pour que les résultats varient extrêmement entre eux. On en jugera par le tableau suivant, extrait de Gauthey, et auquel je n'ai fait qu'ajouter la colonne des épaisseurs moyennes. Ce tableau est relatif à des ponts de pierre; mais il sera facile de déduire la résistance qu'il faudra donner aux culées des ponts en bois et en fer, selon la plus ou moins grande poussée des arches.

TABLEAU

De comparaison pour les épaisseurs des culées d'une voûte de 20 mètres d'ouverture, déterminées par différens auteurs.

INDICATION des ESPÈCES DE VOUTES.	Épaisseur donnée par Gauthier.	Épaisseur donnée par Pollin.	Épaisseur donnée par Rondelet	Épaisseur donnée par Gauthey.	Épaisseur moyenne des quatre précédentes.	ÉPAISSEUR DONNÉE PAR LA THÉORIE.	
						La culée est renversée.	La culée est repoussée.
	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.	Mètres.
Plein cintre........	5,43	2,28	1,82	3,44	3,24	0,45	1,32
Anse de panier surbaissée au tiers...	»	3,03	2,14	3,76	2,98	0,66	1,62
Anse de panier surbaissée au quart..	»	»	2,30	2,91	3,10	0,82	2,24
Arc de cercle de 66,677 grades élevé sur des piédroits de 5 mètres de hauteur	»	»	2,47	»	2,47	5,95	3,09

Des résultats si différens, donnés par des savans aussi expérimentés, auraient lieu de surprendre, si l'on ne savait combien les élémens qui entrent dans le calcul sont variables, et qu'un seul de ces élémens, l'adhérence plus ou moins grande du mortier, par exemple, peut influer extrêmement sur les résultats. « Les voûtes, dit Gauthey, ne » peuvent s'écrouler qu'autant que les voussoirs placés près de la clef, » des points de rupture et de la base des culées, se séparent les uns » des autres en tournant autour de leurs arètes. La ténacité du mortier » s'oppose à cet effet; et cette ténacité peut être assez grande pour que » la voûte se soutienne, comme cela arrive quelquefois dans les cons- » tructions anciennes, quoique les culées n'aient pas toute l'épaisseur » qu'elles devraient avoir. »

J'ai montré, pages 65 et suivantes, que l'assemblage des voussoirs avait, dans mon système de ponts, une force autrement grande que la force de cohésion du mortier; et cet assemblage est en effet si fort, que l'on pourrait considérer chaque ferme d'une arche comme une poutre cintrée d'une seule pièce, qui par conséquent n'exercerait qu'une faible poussée contre les culées; en sorte que l'on pourrait réduire considérablement l'épaisseur de ces culées. Mais il est bon cependant, pour plus de sûreté, de leur donner l'épaisseur suffisante pour résister à l'entière pression qui s'exercerait contre elles, à supposer que la liaison des voussoirs fût imparfaite; car du reste la poussée ne sera jamais très grande, vu la légèreté des arches, selon ce système, comparativement à la pesanteur des arches en pierre. Et comme l'effort qui s'exerce contre les culées est nécessairement six fois plus grand que la pression calculée pour l'un des six voussoirs aux naissances, il suffira de mettre les culées en état de résister à cet effort, puisqu'elles n'auront jamais à le supporter entièrement, à cause de la force d'assemblage des voussoirs (*).

(*) C'est de cette manière que Gauthey évalue la pression des arches en bois contre les culées. « La manière la plus simple, dit-il, d'évaluer cette pression, est » d'assimiler l'arche de charpente à une voûte en pierre, et d'examiner la poussée » que cette voûte produirait, d'après son poids et le rapport de la flèche à l'ouver- » ture. On aura ainsi, non la véritable valeur du cintre, mais une limite au-dessous » de laquelle cette poussée reste toujours, et d'après laquelle on pourra régler les » dimensions des piles et des culées. »

TABLEAU

Des Pesanteurs spécifiques, des Dilatations et des Résistances à la traction et à la compression des corps ou matériaux employés le plus fréquemment dans la construction des édifices.

DÉSIGNATION DES CORPS.	Pesanteur spécifique, celle de l'eau étant 1.	Dilatation depuis le terme de la congélation de l'eau jusqu'à son ébullition.	Résistance à la traction par millimètre superficiel.	Résistance à la compression ou écrasement par millimètre superficiel.	OBSERVATIONS.
			kilog.	kilog.	
Fer forgé	7,7880	0,00122	40,00	50,00	La 2e colonne donne les dilatations d'après MM. le marquis de Laplace et de Lavoisier. Les résultats contenus dans les autres colonnes sont tirés de divers auteurs. A l'égard de la dilatation des bois par l'effet de l'humidité, voyez les expériences que j'ai rapportées à la page 43; j'ignore s'il en a été fait d'autres de ce genre.
Fer fondu	7,2070	0,00117	10,00	100,00	
Bronze	8,700	0,00190	25,00	250,00	
Cuivre rouge fondu	8,7880	0,00172	12,00	80,00	
Étain fondu	7,2914	0,00217	3,00	7,00	
Plomb fondu	11,3523	0,00285	1,20	5,00	
Basalte	3,000	»	»	20,00	
Granit dur	2,850	»	»	7,00	
Granit ordinaire	2,640	»	»	4,00	
Marbre commun	2,700	»	»	3,00	
Pierre calcaire dure	3,000	»	»	10,00	
Pierres calcaires ordinaires	2,500	»	0,60	5,00	
Grès le plus dur	2,800	»	»	9,00	
Grès tendre	2,00	»	»	0,40	
Brique dure	1,800	»	0,20	1,20	
Brique ordinaire	1,500	»	»	0,40	
Plâtre	1,400	»	0,04	0,60	
Bon mortier	1,500	»	0,09	0,40	
Mortier ordinaire	1,300	»	0,03	0,25	
Chêne sec de France	1,670	»	9,80	4,00	
Sapin commun de France	0,550	»	8,00	1,30	
Mélèze ou sapin des Alpes	0,657	»	»	1,70	
Orme	0,800	»	»	0,90	
Corde en chanvre	»	»	5,00	»	

EXPLICATION DES PLANCHES.

PLANCHE N° 1.

Figure 1re.

AB, élévation des plus hautes eaux du fleuve.
ab, basses eaux.
CD, profil du fond du fleuve.

Vers les points A et B, aux naissances de l'arche, les deux voussoirs pointillés ou *sablés* sont en fer fondu. (*Voyez* à cet égard le *Supplément à l'Essai sur la construction des ponts à grandes portées*, etc., page 56.)

Figure 2.

E, assemblage des six arceaux ou fermes parallèles et des piliers supportant le platelage.
F, assemblage des poutres et solives par-dessus les piliers.
G, platelage reposant sur l'assemblage F des poutres et solives.

Les détails de construction de l'arche représentée par les figures 1 et 2 se trouvent aux pages 26 et suivantes. (*Voyez* aussi, page 52, *De la force des voussoirs*.)

Figure 3.

R, T, V, S, voussoirs en fer fondu, mentionnés aux pages 40, 62 et suivantes.
TV, assemblage, par encastrement mâle et femelle et par des boulons, de deux voussoirs en fer fondu, selon la courbure de l'arc. Ces voussoirs sont de plus assujettis et consolidés par de doubles bandages de fer à l'intrados et à l'extrados, pareillement boulonnés dans le sens normal de la courbe. (Pages 40, 62 et suivantes.)

Ces voussoirs en fer fondu sont représentés dans la figure 3 à une échelle plus grande que celle de la planche première, afin d'expri-

mer plus clairement leurs assemblages et bandages, ainsi que la position des boulons.

PLANCHE N° 2.

Figure 4.

Cette figure représente l'échafaud servant à la pose des arceaux ou fermes de l'arche. Les détails de construction de cet échafaud sont donnés d'une manière suffisante aux pages 30 et suivantes, et il ne reste rien à ajouter ici à cet égard.

PLANCHE N° 3.

Figure 5.

Arche composée de fermes en voussoirs de fer fondu, bandés et boulonnés en fer forgé. (*Voyez* à cet égard les détails de construction de ce genre, pages 72 et suivantes.)

Figure 6.

Développement à une plus grande échelle que celle de la planche 3, d'une partie de la ferme en fer représentée par la figure 5 précédente, afin de montrer plus clairement les assemblages et bandages des voussoirs.

Figure 7.

Système composé de deux barres de fer séparées par des cales et assemblées par des boulons traversant les cales. (Pages 68, 86 et suivantes.)

Figure 8.

Système composé de deux barres de fer, liées entre elles par des croix de Saint-André. (Pages 68, 86 et suivantes.)

TABLE
DES MATIÈRES
CONTENUES DANS CET OUVRAGE.

14

Errata.

Pages	lignes	
21	»	Essai sur la construction *de* ponts, *lisez* des ponts
31	28	ne *ont* pas partie, *lisez* ne font pas
39	20	1200000, *lisez* 1000000
Idem.	21	1000000, *lisez* 1200000
45	26	50 demi-kilog., *lisez* 100 demi-kilogrammes
48	18	tirés *des* constructions, *lisez* de constructions
57	27	dix fois *de* plus, *lisez* dix fois plus
59	2	est de 888 mètres, *lisez* 8,88 mètres
67	31	les *resforts*, *lisez* les renforts

FIN.

15 20 Mètres

